

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Līga FREIVALDE

**TEHNOLOĢIJU IETEKME UZ KAŅEPJU ŠĶIEDRU
SILTUMIZOLĀCIJAS MATERIĀLU ĪPAŠĪBĀM**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2014

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
RIGA TECHNICAL UNIVERSITY**

Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Faculty of Material Science and Applied Chemistry

Dizaina tehnoloģiju institūts
Institute of Design Technologies

Līga FREIVALDE

Doktora studiju programma „Tekstila un apģērbu tehnoloģija”

**TEHNOLOĢIJU IETEKME UZ KAŅEPJU ŠĶIEDRU
SILTUMIZOLĀCIJAS MATERIĀLU ĪPAŠĪBĀM**

**THE IMPACT OF TECHNOLOGIES ON HEMP FIBER INSULATION
MATERIALS PROPERTIES**

**Promocijas darba kopsavilkums
The summary of the Doctorate thesis**

Zinātniskais vadītājs/ Supervisor
Dr. habil. sc. ing., profesore/ professor
Silvija KUKLE

Zinātniskais konsultants/ Scientific consultant
Professor of Textile Materials & Technology, Director of the Nonwovens Research Group,
Centre for Technical Textiles, University of Leeds
Stephen RUSSELL

Rīga 2014

UDK 677.014(043)

Fr 448

Freivalde L. Tehnoloģiju ietekme uz kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu īpašībām. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2014.-27 lpp.

Freivalde L. The impact of technologies on hemp fiber insulation materials properties. Summary of Doctorate Thesis.-R.: RTU, 2014.- 21 pages.

Iespiests saskaņā ar RTU TTD institūta 2013.gada 23. maija lēmumu, protokols Nr.1



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

This work has been partly supported by the European Social Fund within the National Programme “Support for the carrying out doctoral study program’s and post – doctoral studies at Riga Technical University”.

© Rīgas Tehniskā universitāte 2014
© Līga FREIVALDE 2014

ISBN 978-9934-507-66-3

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

**DOCTORAL THESIS HAS BEEN PROMOTED FOR OBTAINING
DOCTOR'S DEGREE IN ENGINEERING SCIENCES IN RIGA
TECHNICAL UNIVERSITY**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. gada 26. augustā plkst. 16.00. zinātņu nozares Materiālzinātne apakšnozares Tekstila un apģērbu tehnoloģijas promocijas padomes RTU P-11 atklātajā sēdē RTU, Rīgā, Āzenes 18, 117. auditorijā.

Doctoral thesis to obtain a doctor's degree in engineering sciences is publicly defended on 26 August 4 pm of 2014 in auditorium No. 117 in Faculty of Materials Science and Applied Chemistry of Riga Technical University in Riga, Azenes Street 18.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. **Guntis Strazds**
Latvijas Viegglās rūpniecības uzņēmumu asociācijas prezidents

Profesors, Dr. sc. ing., **Rimvydas Milašius**
Kauņas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva

LLU as.profesore, Dr.oec. **Helma Jirgena**
LZA Ekonomikas institūta padomes locekle

APSTIPRINĀJUMS/ CONFIRMATION

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

I confirm that I have written this thesis and it is submitted for review in Riga Technical University for acquiring the Doctoral degree in engineering sciences. The thesis is not submitted in any other university for acquiring a scientific degree.

Līga Freivalde (Paraksts/ Signature) Datums/ Date:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 3 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 103 attēlus, 32 tabulas, kopā 145 lappuses. Literatūras sarakstā ir 170 nosaukumi.

The doctoral thesis has been written in Latvian and includes introduction, 3 chapters, conclusions, literature list, 103 figures, 32 tables, 145 text pages and 170 literature sources.

SATURS/ CONTENT

SATURS/ CONTENT	5
IEVADS	6
1. SITUĀCIJAS ANALĪZE	12
2. MATERIĀLI UN METODES	15
3. REZULTĀTI	19
SECINĀJUMI	26
INTRODUCTION	28
4. ANALYSIS OF SITUATION	32
5. MATERIALS AND METHODES	35
6. RESULTS	38
CONCLUSIONS	45
LITERATŪRAS SARAĶSTS/ REFERENCES	47

IEVADS

Enerģijas un izejvielu izmaksu, vides piesārņojuma palielināšanās, siltumnīcas efektu izraisīto gāzu emisija, globālā sasilšana, fosilo izejmateriālu izsīkšana stimulē meklēt un pētīt citas alternatīvas mākslīgo šķiedru un no tām izgatavoto produktu pilnīgai vai daļējai aizvietošanai. Atjaunojamās izejvielas, t.sk. dabiskās šķiedras ir nākotnes resursu krātuve ar daudzpusīgu pozitīvu ietekmi gan uz planētas ekosistēmu, gan dzīves un darba vidi, gan enerģijas patēriņu nodrošinot nepieciešamo funkcionalitāti. Viens no būtiskiem enerģijas taupīšanas veidiem ir samazināt enerģijas patēriņu ēkās tās siltinot.

2012. gadā pasaules šķiedru ražošana pieaugusi līdz 88.5 miljoniem tonnu, kas ir par 1.9 % vairāk nekā 2011. gadā. No tām 32.5 miljoni tonnas bija dabiskās un 56 miljoni tonnas mākslīgās šķiedras. Savukārt, izmantoto šķiedru apjoms sasniedza 85.8 miljonus tonnu, kas ir par 4.5% vairāk nekā iepriekšējā gadā. Tas uzskatāms par ievērojamu izaugsmes paātrinājumu, salīdzinot ar 1.7% pieaugumu 2011. gadā. [1] Saskaņā ar *Global Industry Analysts*, kas tiek pozicionēta kā viena no pasaules lielākajām un pazīstamākajām tirgus izpētes firmām, pētījumu datiem paredzams, ka pasaules tekstilšķiedru tirgus uz 2015. gadu sasniegs 93 miljonus tonnu. [2] Tiek prognozēts, ka pasaules iedzīvotāju skaits turpinās pieaugt no pašreizējiem 7 miljardiem cilvēku līdz aptuveni 9 miljardiem 2050. gadā. [3] 2012. gadā pie šķiedru patēriņa 85.8 miljoni tonnu, pasaulē katrs iedzīvotājs patērēja vidēji 12.2 kg tekstilšķiedru. [1] Pieaugot iedzīvotāju skaitam paredzams, ka globālais šķiedru pieprasījums pieaugs vidēji par 3 % gadā. [4] Līdz ar to arī pieprasījums pēc tehniskiem tekstilizstrādājumiem, t.sk., neaustajiem materiāliem siltumizolācijas lietojumiem ir un būs pieaugošs.

Patlaban lielāko pasaules atjaunojamo šķiedru tirgus daļu ar aptuveni 85 % sastāda kokvilna; no tās izgatavo aptuveni 40 līdz 50% no visiem tekstilizstrādājumiem. [2] Taču kokvilnas šķiedru ražošana saistīta ar lielu enerģijas patēriņu un vides piesārņojumu ar audzēšanā lietotiem pesticīdiem un herbicīdiem. Bez tam kokvilnas audzēšanai piemēroto zemju platības sarūk Indijā, Ķīnā un Pakistānā, kas dominē pasaules kokvilnas ražošanā. [2] Pakāpeniski attīstās citas dabīgo šķiedru alternatīvas. Celulozes šķiedru (izņemot kokvilnu) ražošanas apjomi 2012. gadā par 10.2 % pārsniedza 2011. gadu, un sasniedza 5.2 miljonus tonnu. Kopumā šis ir desmitgades visdinamiskākais šķiedru segments, kurā vidējais gada pieauguma temps kopš 2000. gada ir 5.4%. [1]

Latvijas apstākļiem piemērotas šķiedraugu kultūras ir vēsturiski audzētie šķiedru lini un kaņepes. Darba ietvaros veiktajos pētījumos izmantotas šķiedru kaņepes, kas

salīdzinājumā ar liniem mazāk slimo un tās maz bojā kaitēkļi, tāpēc kaņepju audzēšanā praktiski nav jālieto pesticīdi un herbicīdi, [5] kas samazina apdraudējumu ekosistēmai. Viena no biežāk minētajām rūpniecisko kaņepju izejmateriālu pozitīvajām īpašībām ir to ļoti plašais lietojums, praktiski visu augu var pārstrādāt un tā pārstrādes produktus izmantot ražošanā. Lūksnes šķiedras pārstrādā tekstilrūpniecībā, papīra ražošanā, būvmateriālu, ķīmiskajā rūpniecībā, autobūvē. Visu stiebru kā zaļo masu lieto enerģētikā, ķīmiskajā rūpniecībā, spaļus var pārstrādāt būvmateriālu, ķīmiskajā rūpniecībā, enerģētikā, lauksaimniecībā. No sēklām iegūst eļļu, ko izmanto pārtikai, farmācijā, enerģētikā, ķīmiskajā rūpniecībā, lauksaimniecībā.

Kaņepju šķiedras tradicionāli pārstrādātas galvenokārt austos tekstilizstrādājumos, bet pēdējo desmitgažu laikā pastiprināta interese ir vērsta uz to pārstrādi neaustos tehniskos tekstilizstrādājumos. Lūksnes šķiedru siltumizolācijas materiāli tiek uzskatīti par ekoloģiski labvēlīgiem materiāliem, kas ir viena no to svarīgākajām priekšrocībām.

Arī Latvijai ir svarīgi meklēt veidus kā no vietējām dabīgajām šķiedrām ražot ilgtspējīgus produktus. Šī darba ietvaros pētītas iespējas Latvijā audzētu kaņepāju šķiedras pārstrādāt neaustos materiālos siltumizolācijas lietojumiem.

Starp pozitīvajiem ieguvumiem no kaņepju šķiedru izmantošanas ēku siltināšanas materiālos jāmin zems enerģijas patēriņš un augsta oglekļa dioksīda piesaiste visā dzīves ciklā, laba izolācijas materiālu gaisa un ūdens tvaiku caurlaidība ļauj uzturēt veselīgu telpu mikroklimatu, ekspluatācijā un degot neizdalās toksiski savienojumi, veidoti no ikgadēji atjaunojamām izejvielām, nodrošina ar citiem tirgū piedāvātiem izolācijas materiāliem salīdzināmu siltumizolācijas sniegumu. Tādējādi kaņepes ir uzskatāmas par vērtīgu kultūru, kas paver iespējas attīstībai gan lauksaimniecībā, gan ražošanā.

Zinātniskā darba mērķis:

Veikt kompleksus pētījumus izvērtējot neausto materiālu tehnoloģiju ietekmi uz kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu īpašībām un izstrādāt siltumizolācijas materiālu prototipus uz vietējo ikgadēji atjaunojamu resursu bāzes.

Lai īstenotu izvirzīto mērķi, tika definēti sekojoši darba uzdevumi:

1. Apzināt un analizēt siltumizolācijas materiālu izgatavošanai piemērotas neausto materiālu izgatavošanas metodes un tehnoloģijas, veikt to salīdzinošu analīzi;
2. Veikt neausto materiālu eksperimentālu paraugu izstrādi laboratorijas apstākļos no divu kaņepāju šķirņu šķiedrām ar trim augstas produktivitātes tehnoloģijām;
3. Testēt un novērtēt izstrādāto paraugu siltumizolācijas materiālus raksturojošās fizikālās īpašības;

4. Apzināt un sistematizēt citu globālajā tirgū esošu siltumizolācijas materiālu īpašības un salīdzināt ar pētījumu rezultātā izgatavotajiem paraugiem;
5. Veikt piedāvāto neausto siltumizolācijas materiālu ekonomisko novērtējumu un salīdzināt ar globālajā tirgū esošo kaņepju šķiedru izolācijas materiālu cenām.

Tēmas aktualitāte:

Latvijā kopš 2008.gada novērojama augoša interese par industriālo kaņepju audzēšanu. Pieprasījumam pēc kaņepju tehniskajām šķiedrām globālajā tirgū ir tendence pieaugt. Tā kā nozare Latvijā ir jauna un pēdējo divdesmit gadu gaitā zaudēta pieredze un neausto tehnisko tekstiliju ražošanas tradīcijas, ir kļuvusi aktuāla nepieciešamība veikt kompleksus zinātniskos pētījumus vērstus uz Latvijā audzētu kaņepju šķiedru pārstrādes iespēju izpēti un ilgtspējīga izstrādājumu sortimenta veidošanu ar augstu pievienoto vērtību.

Lai atjaunotu sēklu un šķiedru kaņepju audzēšanu Latvijā, balstoties uz vietējiem kloniem tiek veidota sēklu kaņepju šķirne „Pūriņi”, tās šķiedras būs blakus produkts. Pilna risinājuma veidošanas procesā jāveic atbilstoši pētījumi, kuru rezultātā var nodrošināt zemniekiem un uzņēmējiem iespējas ne tikai iegūt un pārstrādāt sēklas, bet arī stiebrus produktos ar iespējami augstu pievienoto vērtību. Viens no iespējamiem problēmu loka risināšanas virzieniem - siltumizolācijas materiālu izveidošana balstoties uz vietējām, ātri atjaunojamām izejvielām piedāvā arī ieguvumus ekoloģijas jomā, paverot iespēju uzlabot dzīves un darba vidi, kā arī aizvietot fosilo izejvielu bāzes siltumizolācijas materiālus.

No tautsaimniecības attīstības veicināšanas skata punkta promocijas darbā veiktie pētījumi, salīdzinot Latvijas klimatiskajiem apstākļiem atbilstošas sēklu kaņepju „Pūriņi” šķiedru tehnoloģiskās īpašības ar Eiropā rajonizētas industriālas šķiedru šķirnes „Bialobrzeskie” šķiedru īpašībām un piedāvātie izolācijas materiālu prototipi, kas iegūti piemērojot neausto materiālu tekstiltehnoloģijas, un to ekspluatācijā svarīgu īpašību salīdzinošas analīzes rezultāti dod būtisku ieguldījumu problēmu ķēdes „zemnieks-sēkla-lauks-produkts-lietojums” risinājumos.

Izstrādāto tehnisko tekstiliju - siltumizolācijas materiālu prototipi motivē zemniekus paplašināt kaņepju audzēšanu, uzņēmējus atjaunot neausto materiālu ražošanas tradīcijas Latvijā, tādējādi sekmējot gan lauksaimniecības, gan rūpniecisko attīstību, kā arī ražoto produktu eksportu.

Promocijas darba praktiskā nozīme:

Promocijas darbs sniedz priekšstatu par kaņepju šķiedru neausto siltumizolācijas materiālu izgatavošanas tehnoloģiju lietojumiem. Pētījuma rezultāti ir izmantojami

tehnisko tekstiliju ražošanas un sortimenta plānošanā, īpaši noderīgi kaņepju šķiedru neausto materiālu ražošanas uzsācējiem viņu praktiskajā darbā. Darbs pamato un nostiprina kaņepju audzēšanu un pārstrādi kā svarīgu jomu Latvijas tautsaimniecībā, piedāvā integrētu pieeju lauksaimniecības un pārstrādes sinhronai attīstībai, kā arī neausto siltumizolācijas materiālu prototipus, to īpašību salīdzinošas analīzes rezultātus un testēšanas metožu aprakstus potenciālajiem investoriem un uzņēmējiem. Dažādie darbā apskatītie aspekti izmantojams profesionālās izglītības sistēmā.

Promocijas darba novitāte:

Latvijā līdz šim veikti daži fragmentāri pētījumi par kaņepju šķiedru siltumizolācijas materiālu sastāvu iespējamiem variantiem, paraugus izgatavojot ar ļoti amatnieciskām tehnoloģijām, nosakot tikai dažas to īpašības. Promocijas darbā veiktie kompleksie pētījumi, saistot šķiedru izcelsmi un neausto materiālu rūpnieciskas izgatavošanas tehnoloģijas (termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas) ar neaustu siltumizolācijas materiālu lietojumiem atbilstošām īpašībām un to salīdzinoša analīze, kā arī piedāvātie izolācijas materiālu prototipi, t.sk. no Latvijas genotipa „Pūriņi” šķiedrām, ir tēmas novitātes vērstas uz aktuālu tautsaimniecības un ekoloģijas problēmu risinājumu meklējumiem gan Latvijā, gan arī citās ES valstīs. Darbā pierādīts: lai arī kaņepju genotips „Pūriņi” ir izteikta sēklu šķirne, tās šķiedras ir līdzvērtīgi izmantojamas izolācijas materiālos nodrošinot nepieciešamās funkcijas un kompensē zemāku stiebru masu ar bagātu sēklu ražu, kas ir vērtīga izejviela pārtikas un tehnisku produktu izgatavošanai, kā arī var nodrošināt nākošās sezonas sējplatības ar sēklu.

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Publikācijas par promocijas darba tēmu

1. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Thermal properties of hemp fibre non-woven materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2013, Vol.49, pp. 4, ISSN: 17578981, Available from: doi:10.1088/1757-899X/49/1/012030
2. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Hydro-entangled hemp fibre non-wovens. **In:** *Proc. of the International Conferene „Advances in Functional Textiles”*, Manchester: The Textile Institute, 2013, pp.6. ISBN 978-0-9566419-4-6.
3. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Comparative Analysis of Thermo Bonded and Needle Punched Hemp Nonwoven Material Properties. **In:** *Proc. of the International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles – 6*. Croatia, Dubrovnik, October 2012. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2012, pp. 47.-52. ISSN 1847-7275.

4. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Renewable Hemp Fibre Insulation Materials. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. 2012, Vol.6, pp 418-423, ISSN 1691-6069. Available from: doi:10.1166/jbmb.2012.1236.
5. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Thermalbonded Hemp Fibre Insulation Materials. **In:** *Proc. Of 12th AUTEX World Textile Conference "Innovative Textile for High Future Demands"*. Croatia, Zadara, 13-15 June, 2012, pp.1655.-1660. ISBN 9789537105471.
6. **Freivalde L.,** Kukle S. Content of Hemp Fibres and Properties of Nonwovens. *RTU zinātniskie raksti, Materiālzinātne*. Vol.7, 2012, pp. 84.- 89. ISSN 1691-3132.
7. **Freivalde L.,** Kukle S. Mechanical Properties of Hemp Fibres and Insulation Materials. **No:** *Biznesa augstskolas Turība XIII starptautiskā zinātniskā konference Ilgtspējīga uzņēmējdarbība mainīgos ekonomiskos apstākļos*. Latvija, Rīga, 30. Marts, 2012, lpp. 45.-52. ISSN 1691-6069.
8. **Freivalde L.,** Kukle S., Puplakse V., Purina B. Comparative analysis of hemp fiber grown in year 2010th. **In:** *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources*. Rēzekne: RA Publishing House, 2010, pp. 340.-345. ISSN 1691-5402.
9. **Freivalde L.,** Kukle S., Puriņa B., Stramkale V. Durability Properties of Hemp Fibers. **In:** *Proc. of the International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles - 5*. Dubrovnik, October 2010. Zagreb: Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, 2010, pp. 83-86. ISSN 1847-7275.
10. Stramkale V., **Freivalde L.,** Kukle S. Analysis of the renewable fibres properties and uses in scale of Latvia. **In:** *41st International Symposium on Novelties in Textiles*. Slovenia, Ljubljana, 27-29 May, 2010, pp. 300- 325. ISBN 978-609-95098-2-2.
11. **Freivalde L.,** Kukle S., Ulme A. Salīdzinoša kaņepju šķiedru ilgizturības analīze. *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne*. Vol.5, 2010, pp. 134.-138. ISSN: 1691-3132.
12. **Freivalde L.,** Ulme A. Atjaunojamo izejvielu attīstība Latvijas teritorijā. *RTU Zinātniskie raksti. Materiālzinātne*. 4. sēj., 2009, 63.-67. lpp. ISSN: 1691-3132.
13. **Freivalde L.,** Kukle S., Andžs M., Bukšāns E., Grāvītis J. Hemp raw insulation materials flammability, Composites Part B: Engineering, 2014, apstiprināts publicēšanai, elektroniski pieejams: DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.08.007

Dalība starptautiskās konferencēs

1. **Freivalde L.,** Kukle S., Andžs M., Bukšāns E., Grāvītis J. Hemp raw insulation materials flammability. *4th Conference on Natural Fibre Composites*, Rome, 17-18 October 2013.
2. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S. Hydro-entangled hemp fibre non-wovens. *International Conference: Advances in Functional Textiles*. Manchester, 25-26 July, 2013.
3. **Freivalde L.,** Kukle S., Russell S., Thermal properties comparative analysis of thermal bonded, needle-punched and hydro-entangled non-wovens. *Conference of functional materials and nanotechnologies „FM&NT – 2013”*. Tartu, Estonia, April 21st – 24th, 2013.

4. **Freivalde L.**, Kukle S. Content of Hemp Fibres and Properties of Nonwovens. *RTU 52 International Scientific conference*. 12 October, 2012.
5. **Freivalde L.**, Kukle S. Mechanical Properties of Hemp Fibres and Insulation Materials. *Biznesa augstskolas Turība XIII starptautiskā zinātniskā konference „Ilgtspējīga uzņēmējdarbība mainīgos ekonomiskos apstākļos”*. Rīga, 2012. gada 30. marts.
6. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Renewable Hemp Fibre Insulation Materials. *3rd International Conference on Innovative natural fibre composites for industrial applications*. Rome, October 12-14, 2011.
7. **Freivalde L.**, Kukle S., Puplakse V., Purina B., Comparative analysis of hemp fiber grown in year 2010th. *8th International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources*. Rēzeknes Augstskola, Rēzekne, 20.-22. jūnijs, 2011.
8. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Comparative Analysis of Thermo Bonded and Needle Punched Hemp Nonwoven Material Properties. *International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles – 6*. Croatia, Dubrovnik, October 7- 10, 2012.
9. **Freivalde L.**, Kukle S., Russell S. Thermalbonded Hemp Fibre Insulation Materials. *12th Autex World Textile Conference "Innovative Textile for High Future Demands"*. Croatia, Zadar, 13.-15. June, 2012.
10. **Freivalde L.**, Kukle S., Puriņa B., Stramkale V. Durability properties of hemp fibers. *5th International textile clothing & design Conference “Magic World of Textiles”*. Croatia, 3 - 6 October, 2010.
11. Stramkale V., **Freivalde L.**, Kukle S. Analysis of the renewable fiber properties and uses in scale of Latvia. *41st International Symposium on Novelties in Textiles*. Ljubljana, Slovenia, 27-29 May, 2010.
12. **Freivalde L.**, Kukle S., Ulme A. Salīdzinoša kaņepju šķiedru ilgizturības analīze. *RTU 51. starptautiskā zinātniskā konference. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Rīga, 15. oktobris, 2010.
13. **Freivalde L.**, Ulme A., Atjaunojamo izejvielu attīstība Latvijas teritorijā. *RTU 50. starptautiskā zinātniskā konference. Tekstila un apģērbu tehnoloģijas*. Rīga, 15.-16. oktobris, 2009.

1. SITUĀCIJAS ANALĪZE

Uzmanība, kas vērsta uz klimata pārmaiņām, vides un veselības veicināšanas jautājumu aktualizēšanās, efektīvāku resursu izmantošana, ir radījusi pastiprinātu tendenci pievērsties dabiskām, atjaunojamām, bioloģiski noārdāmām izejvielām, t.sk., lūksnes šķiedrai. Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komiteja rosina veicināt dabas šķiedru, t.sk., linu, kaņepju, vilnas, celulozes šķiedru un biopolimēru ražošanu, lai nodrošinātu ar vietējām izejvielām daudzveidīgas tautsaimniecības jomas. Potenciālu turpmākai dabisko šķiedru, izņemot kokvilnu, izplatībai un izmantošanai dažādu produktu, t.sk., ēku siltumizolācijas materiālu ražošanā veicina arī strauji pieaugošais iedzīvotāju skaits, kur uz vienu iedzīvotāju gadā vidēji tiek patērēti aptuveni 12.2 kg šķiedru. Sintētisko šķiedru pieaugošās izmaksas arī ir palielinājušas pieprasījumu pēc dabas šķiedrām.

Kā viens no efektīviem resursu izmantošanas virzieniem ir enerģijas izlietojuma samazināšana, kur būtisks potenciāls ietaupījumam ir ēku sektorā, kas izlieto 40 % no ES kopējā enerģijas patēriņa. Kā ziņots Eiropas Parlamenta un Padomes direktīvā „2010/31/ES par ēku energoefektivitāti”, ES līdz 2020. gadam enerģijas patēriņš jāsamazina par 20 %. Uz samazinājumu, ko var panākt ēkas labāk izolējot, vērstas arī LR un ES normatīvajos dokumentos sniegtās norādes. Neausto materiālu izgatavošanā izmantojamo neatjaunojamo resursu pilnīga vai vismaz daļēja aizvietošana ar atjaunojamiem izejvielu resursiem, piemērojot esošās tehnoloģijas, rada iespēju izmantot kaņepju šķiedras siltumizolācijas materiālu ražošanā. Pēc EIHA datiem uz 2009./2010.gadu ES saražoja 35'000 tonnas kaņepju šķiedru, no kurām 25.9 % tika pārstrādātas siltumizolācijas materiālos.

Pozitīvie argumenti kaņepju šķiedru izmantošanai izolācijas materiālos ir to siltuma un skaņas izolācijas īpašības, pozitīvā ietekme uz iekštelpu mikroklimatu, ūdens tvaiku caurlaidība („elpojoši”), kondensāta kontrole, pietiekoša noturība pret mikroorganismiem, iespēja uzstādīt bez aizsargtērpu un respiratoru izmantošanas. Kā svarīgs aspekts ir arī to ekoloģiskās īpašības, t.i., zems enerģijas patēriņš un siltumnīcas efektu veidojošo gāzu ietaupījums visā produktu dzīves cikla laikā, otrreizējās pārstrādes iespējas, degot tie nerada toksiskas vielas. Bez tam kaņepju iekļaušana augu sekā uzlabo augsnes struktūru un tās var audzēt bez vai ar nelielu mēslojuma devu, bez augu aizsarglīdzekļu lietojuma. Pieaugošā interese par kaņepēm daļēji radusies arī sakarā ar to, ka visā pasaulē strauji pieaug mežu izciršana; bez tam no kaņepju hektāra var iegūt četras reizes vairāk

šķiedrvielu nekā no kokaudzēm, viens ha kaņepju augšanas laikā absorbē līdz 18t CO₂, vienā tonnā žāvētu kaņepju tiek uzglabāti 325 kg CO₂.

Pie ierobežojošiem faktoriem pieskaitāmas biežākas sienu konstrukcijas, kā arī papildapstrādes, lai nodrošinātu ugunsdrošības normatīviem atbilstošas degšanas īpašības. Bez tam kaņepāju mērcēšana rasā aizņem lielas platības, savukārt mērcēšana ūdens baseinos piesārņo ūdeni, radot papildizmaksas attīrīšanai. Pirmreizējās apstrādes procesos rodas daudz putekļu, tomēr tie salīdzinoši lielo izmēru dēļ neiekļūst dziļi organismā, līdz ar to ir mazāk kaitīgi.

Lai gan sintētisko šķiedru neaustajiem materiāliem ir vairākas pozitīvas īpašības, tomēr atšķirībā no atjaunojamo resursu šķiedru materiāliem, tie degot izdala kaitīgas gāzes, kā arī iekļāšanas un lietošanas laikā izdala kaitīgus putekļus, vairums gadījumos nav biodegradējami un tvaiku caurlaidīgi vai relatīvam mitrumam paaugstinoties un samazinoties, materiāls nespēj absorbēt mitrumu no atmosfēras un to atbrīvot, kas nenovērš kondensāta un pelējuma draudus.

Neskatoties uz atjaunojamo un neatjaunojamo izejvielu plusu un mīnusu attiecības, šobrīd vairāk nekā 80 % no šķiedrām, ko izmanto tehnisko neausto materiālu ražošanā, ir sintētiskās šķiedras. Pieejami dažādi patenti arī uz dabisko šķiedru, t.sk., kaņepju siltumizolācijas materiāliem un to izgatavošanas metodēm. Cauradatošanas un caurstrūklošanas tehnoloģijas sniedz iespēju ražot neaustos materiālus bez sintētiskām saistvielām, izmantojot vien dabiskās šķiedras. Cauradatošana ir populārākā neausto materiālu tehnoloģija, ar to izgatavo 30 % no pasaules neaustajiem materiāliem, t.sk., siltumizolācijas lietojumiem. Process notiek cauršujot ar paša materiāla šķiedrām. Caurstrūklošana, kā ļoti augstražīga tehnoloģija šķiedru sasaistei ar augsta spiediena ūdens strūklām ir visstraujāk augošā neausto materiālu tehnoloģija, paredz iegūt ļoti plānus un blīvus neaustos materiālus, bet pretēji cauradatošanas un termoliedēšanas tehnoloģijām, nedod iespēju iegūt biežus neaustos materiālus. Patenti apraksta dažādus ar caurstrūklošanas tehnoloģiju iegūstamus neausto materiālu lietojumus ēku siltināšanas jomā, kur kā izejvielas izmantotas kaņepju šķiedras, piem., sienu apšuvumi, sistēmas elements caurlaidīga izolācijas materiāla ražošanai u.c. Savukārt, izmantojot termoliedēšanas tehnoloģiju, šķiedrām, kas iegūtas no atjaunojamiem resursiem, pievieno vismaz 5 % saistošās šķiedras (tās var būt gan sintētiskās, gan dabiskās). Šo tehnoloģiju siltumizolācijas materiālu izgatavošanā lieto tādas firmas kā *Hemp Technology Ltd* (Lielbritānija), *Biofib'Isolation* (Francija), *Steico* (Polija), *HempFlax Deutschland GmbH* (Vācija), *Nature Pro* (Lielbritānija), *Black Mountain Insulation Ltd* (Lielbritānija) u.c.

Lūksnes šķiedru izolācijas materiālu kalpošanas laiks ir pusgadsimts. Lūksnes šķiedras var pildīt siltumizolācijas materiālu galveno funkciju, t.i., samazināt siltuma pārnesei, jo tām ir poraina struktūra, mazs diametrs, un zems šķiedru blīvums. Celulozes bāzes neausto materiālu siltumizolācijas īpašības ietekmē gan šķiedru īpašības, gan neaustā materiāla fizikālās un strukturālās īpašības. Pierādīts, ka pat viena tipa kultūras (piem, kaņepju) ietvaros, šķirnes ietekme var izpausties kā izmaiņas siltuma pārnēsē. Šķiedru siltumvadāmībai, diametram, garumam un šķiedru orientācijai ir svarīga loma neaustā materiāla siltumvadāmībā: smalkākas šķiedras ar mazāku diametru palielina absorbcijas platību, līdz ar to izolācijas spēju. Tāpēc izstrādājot materiālus, svarīgi zināt ne vien neausto materiālu, bet arī kaņepju šķiedru īpašības. Šķiedru īpašības ietekmē gan šķirne, gan augšanas apstākļi, gan klimats u.c. Samērā ne tik ilgstošā kaņepju audzēšanas pieredze rāda, ka Latvijas klimatiskajos apstākļos labi iedzīvojas Polijā izveidotā tehnisko šķiedru vienmājas kaņepju šķirne “B”, tomēr problēmas rada tās salīdzinoši garais veģetācijas periods, kas Latvijas klimatiskajos apstākļos rada virkni risku: nenobriest sēklas nākošajai sējai, sākoties lietuss periodam nav iespējams novākt stiebrus un tie jāatstāj uz lauka līdz pavasarim, aizkavējot lauka apstrādi, kā arī pazeminot pavasarī novāktu stiebru kvalitāti. Minēto risku mazināšanai vēlams izveidot/ atrast klimatiskajiem apstākļiem atbilstošu kaņepju šķirni balstoties uz kloniem, kas piemērojušies klimata specifikai. Spriežot pēc līdzšinējiem pētījumiem, no 25 potenciāliem kandidātkloniem Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrā izdalītais lokālais divmāju genotips “Pūriņi” vērtējams kā daudzsološs Latvijas klimatiskajiem apstākļiem atbilstošas sēklu šķirnes prototips, kas atkārtotas selekcijas procesā varētu kļūt arī par sēklu-šķiedru šķirni, tā kā gan “Bialobreskie”, gan “Pūriņu” THC saturs nepārsniedz 0.05% (noteikts 2010. un 2011. gada ražai), kas pilnībā atbilst ES pieļaujamajām normām. Pagaidām genotips „P” vēl nav iekļauts kaņepju šķirņu sarakstā, kam ir tiesības uz atbalsta maksājumiem. Lai to attīstītu par šķirni, kas iekļauta ES industriālo šķirņu sarakstā, kā arī noteiktu un attīstītu iespējamās tās lietojumus, jāveic vispusīgi pētījumi un salīdzinošas analīzes.

2. MATERIĀLI UN METODES

Salīdzinošiem pētījumiem darba ietvaros pakļauti 2 šķirņu Latvijas klimatiskajos apstākļos Latgales Lauksaimniecības zinātnes centra izmēģinājuma laucīņos 2009. un 2010. gada veģetācijas periodā [6-8] audzēti kaņepāji: 1) vietējais divmāju genotips „Pūriņi” (P); 2) Polijā selekcionēta, ES reģistrēta vienmāju šķiedru kaņepju šķirne „Bialobrzeskie” (B). Neausto materiālu paraugi izgatavoti no 2010. gadā audzētiem kaņepājiem un to fizikālās īpašības testētas Leeds universitātes Tehnisko Tekstiliju centra laboratorijās un RTU TTDI tekstilmateriālu laboratorijās. Šķiedru testiem pakļautas 2009. gada vākuma kaņepju šķiedras.

Kārsto šķiedru flīss izgatavots uz mazgabarīta nestandarta kāršamās mašīnas Tatham. Pirms kāršanas no tehnisko šķiedru grīstēm ķemmējot atdalīti spaļi ar sekojošu sagriešanu 5- 10 cm garos saišķos (roku darbs). No P un B varietāšu šķiedru flīsa termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas tehnoloģiskajā procesā iegūti neausto materiālu paraugi. Eksperimentu gaitā katras tehnoloģijas ietvaros izgatavotas 3 dažāda biezuma paraugu grupas (caurstrūklošanas tehnoloģijas gadījumā 4), lai novērtētu to paredzamajam lietojumam svarīgas īpašības, īpašību atšķirības tehnoloģijas ietvaros, kā arī analizētu tehnoloģiju ietekmi uz iegūto materiālu īpašībām. Katram variantam piešķirts 3-zīmju kods: koda pirmā zīme - P vai B norāda kaņepju šķirni, otrā koda zīme identificē izgatavošanas tehnoloģiju: T- termoliedētajiem, N- cauradatotajiem un H- caurstrūklotajiem paraugiem, bet trešās koda zīmes cipari 1, 2, 3 vai 4 tiek pievienoti kā flīsa masas raksturojums.

Flīsa formēšanas procesā **termoliedēšanai** uz kāršanas mašīnas ieejas transportgalda viena virs otras kārtotas kaņepju un divu komponentu PE-PP šķiedras attiecībā 92:8 %. Sagataves pirms ievietošanas žāvēšanas kamerā pārvieto speciāli eksperimentam izgatavotā biezumu ierobežojošā metāla režģu palīgierīcē, lai iegūtu vienmērīgu biezumu visā parauga platumā un kopā ar to transportē uz žāvēšanas iekārtu „Spooner”. Tur sagatavi apstrādā no augšas ar karsta gaisa plūsmu (145°C), apstrādes ilgumu nosaka atbilstoši parauga biezumam (1 min. uz katru materiāla biezuma centimetru). Procesu atkārto parauga otrai pusei. Rezultātā T1 paraugu apstrāde ilga 2 minūtes, T2 - 4 min., biezāko T3 paraugu termoliedēšanas process ilgst 20 minūtes (10 min. no katras puses). **Cauradatošana** veikta uz 30 cm platas cauradatošanas iekārtas “Foster” ar pamīšus sakārtotām 36 izmēra regulārām 3-zobu adatām (kāta gabarīti: 15- 18 - 42); adatu iespiešanās dziļums 6.4 mm no katras sagataves puses, dūrienu blīvums 75cm⁻². Katra kārstā sagatave cauradatotā atsevišķi ar sekojošu savietošanu slāņos. Iegūtos

vairākslāņu paraugus papildus necauradato. Šāda laboratorijas tehnoloģija piemērota ar mērķi iegūt vēlamu biežumu no ierobežota šķiedru apjoma. **Caurstrūklošana** veikta uz 0.5 metrus platas septiņu inžektoru iekārtas. Sākotnējai samitrināšanai pakļautās sagataves nonāk uz caurstrūklošanas darba zonu, kurā caur 150 mikronu diametra sprauslām tiek padots ūdens zem 100 bāru (10 MPa) spiediena pārmaiņus no augšas un apakšas profiliem. Konveijers darbojas ar ātrumu 5 m/min. Tūlīt pēc caurstrūklošanas lielu daļu gatavā materiāla ūdens satura aizvada atsūknējot, atlikušo žāvē iekārtā „Spoonier”.

Pirms neausto materiālu fizikālo īpašību testēšanas materiālu paraugi vismaz 24 stundas izturēti klimatiskajā kamerā atbilstoši standarta EN 20139:1992, ISO 139:1973 [9] nosacījumiem. Iegūtie rezultāti apstrādāti matemātiskās statistikas metodēm, sakarības attēlotas grafikos, aprakstītas ar matemātiskiem modeļiem.

Neaustā materiāla biežums noteikts saskaņā ar standartu EN ISO 9073-2:1997. [10] Datu savstarpējās savietojamības nolūkā visu biežumu materiāliem lietota standarta metode „C” ar nelielām modifikācijām. Caurstrūkloto paraugu mērījumi veikti uz iekārtas „Shirley”, kur iekārtas plātne iedarbojas ar 0.02 kPa lielu spiedienu uz paraugu, t.i., ar 10 gramu lielu masu uz 50.2 cm² lielu caurstrūklotā materiāla parauga laukumu. Novirzes no standarta procedūras: 1) eksperimentā testējamo paraugu izmēri 100x100 mm (pēc standarta 200x200 mm); 2) stikla mērīšanas plāksne (200mm +/- 0.2 mm) x (200mm +/- 0.2 mm) ar masu 82 +/-2 g aizvietota ar 100x100 mm kartona plāksni. **Virsmas blīvums** (g/m²) noteikts atbilstoši standartam LVS EN 29073-1:2001, [11] izgatavojot 10 000 mm² lielus paraugus standartā norādīto 50 000 mm² paraugu vietā. 5 katra variantā paraugi svērti uz elektroniskajiem svariem ar precizitāti 0.001. Neausto paraugu blīvums (kg/m³) aprēķināts, virsmas blīvumu (materiāla masu uz laukuma vienību) izdalot ar materiāla tilpumu. **Siltumpretestība** (m²·K/W) noteikta atbilstoši standartam BS 4745:2005 [12] pēc divu plātņu metodes ar fiksētu spiedienu. **Gaisa caurlaidība** (mm/s) saskaņā ar standartu LVS EN ISO 9237:2001 [13] veikta uz aparāta „SDL ATLAS Textile Testing solutions”. No katras caurstrūkloto paraugu grupas testēti 10 paraugi (100 mm x 100 mm) pie gaisa spiediena starpības 50 Pa un testēšanas laukuma 5 cm². No iegūtajiem mērījumiem aprēķināta gaisa caurlaidības vidējā aritmētiskā vērtība (l/ min) un gaisa caurlaidības koeficients. [13] **Ūdens tvaiku caurlaidība** noteikta saskaņā ar standartu BS 7209:1990. [14] Testēšanas procesā paraugus rotē 1 h, lai panāktu ūdens tvaiku vienmērīgu sadalījumu parauga tilpumā, pēc tam tos sver ar precizitāti līdz 0.001 g, fiksējot datus salīdzināšanai ar gala datiem, kas iegūti turpinot diska rotēšanu kontrolētā atmosfērā vēl 16 h. Periodiski sverot traukus, tiek izsekota ūdens tvaiku kustība un izsūkšanās temps cauri paraugam. Lai

piemērotu metodiku biežākajiem neaustajiem materiāliem, trauka malas pārklāj ar plānu, ātri cietējošas līmes slāni un uz tā uzmanīgi novieto paraugu; tā ārējās malas aizklāj ar gaisu un mitrumu necaurlaidīgu materiālu, lai izvairītos no gaisa un mitruma iekļūšanas un izkļūšanas caur parauga malām. Caurstrūklotos paraugus nelīmē, bet nostiprina ar gumijas gredzenu. **Neausto materiālu vidējo poru izmēri** noteikti ar šķidruma izspiešanas metodi, ko parasti piemēro, ja poru aptuvenais diametrs ir robežās no 0.05 μm līdz 50 μm. Paraugu testēšana veikta pēc Leeds universitātē (Lielbritānija) izstrādātas metodikas uz iekārtas “Perm Porometer”, izmantojot šķidrumu “Galwick” ar virsmas spraigumu 15.9 dini/ cm. Testēšanai pakļauti abu šķiedru caurstrūkloto materiālu H2 un H4 paraugi, kā arī termoliedēto materiālu plānākie paraugi T1. Izgatavoti pieci 400 mm² laukuma (20 mm x 20 mm) paraugi no katra varianta. Pirms eksperimenta uzsākšanas datorprogrammā ievada parauga biezumu un šķidruma veidu. Starp metāla režģiem fiksēto paraugu ievieto speciālā traukā, lej uz tā Galwic šķidrumu līdz paraugs samirkst. Trauku noslēdz un ievieto iekārtā. Rezultātus iegūts Excel programmas datnē, kur katram paraugam uzrādīts vidējais poru diametrs mikronos. **Neausto materiālu porainība P (%)**, kas raksturo gaisa spraugas neaustajā materiālā, noteikta saskaņā ar vienādojumu: $P = 100 - \delta / \rho \times 100$, [15; 16] kur P - neaustā materiāla porainība, %; ρ šķiedras blīvums, kg/m³; δ neaustā materiāla blīvums, kg/m³. **Neausto materiālu ugunsreakcijas** pārbaudes veiktas ar konisko kalorimetru 50 kW·m⁻² siltuma starojumā atbilstoši standarta LVS ISO 5660-1 [17] metodikai. Testējamo paraugu izmēri: 100x100 mm. Pirms ievietošanas koniskajā kalorimetrā katru paraugu no piecām pusēm ietin alumīnija folijā augšējo virsmu atstājot neaizsegto, tādējādi netraucējot uguns iedarbībai. Parauga neaizsegta virsma ir nepārtraukti pakļauta vienmērīgam siltuma starojumam. Testu pārtrauc pēc liesmu nodzišanas. Katrai paraugkopai testēti standartā noteiktie 3 paraugi. Datu apstrāde veikta ar iekārtai speciāli izstrādātu Cone CAL programmas nodrošinājumu, kas analizē tādus datus kā aizdegšanās laiks, degšanas jauda, kopējais izdalītais siltuma daudzums u.c. parametrus, kas raksturo degšanas procesa norisi. **Kaņepju šķiedru stiprības testi** veikti uz šķiedru raušanas iekārtas „PM-3-1” atbilstoši iespīlēšanas garumiem 3 mm, 10 mm un 20 mm. Testēšanai pakļauti 40 mm gari šķiedru kūlīši (masa 2 grami). **Kaņepju šķiedru kūlīšu ilgizturības testi daudzkārtējā stiepē veikti** uz pulsatora „UB-5” piemērojot sekojošus testēšanas parametrus: stiepes ciklu skaits 250 min⁻¹, šķiedru iespīlēšanas garums 20 un 30 mm, šķiedru kūlīšu diametrs 0.04 mm, amplitūda 0.2 mm un 0.3 mm; slodzi 0.5 g vai 1 grams nodrošina katram paraugam piestiprinot atbilstošu atsvaru. Šķiedru kūlīšu ilgizturība noteikta pakļaujot šķiedru kūlīšus pulsējošās slodzes iedarbībai līdz 1000 un 2000 cikliem, jo ir svarīgi, lai šķiedras spētu

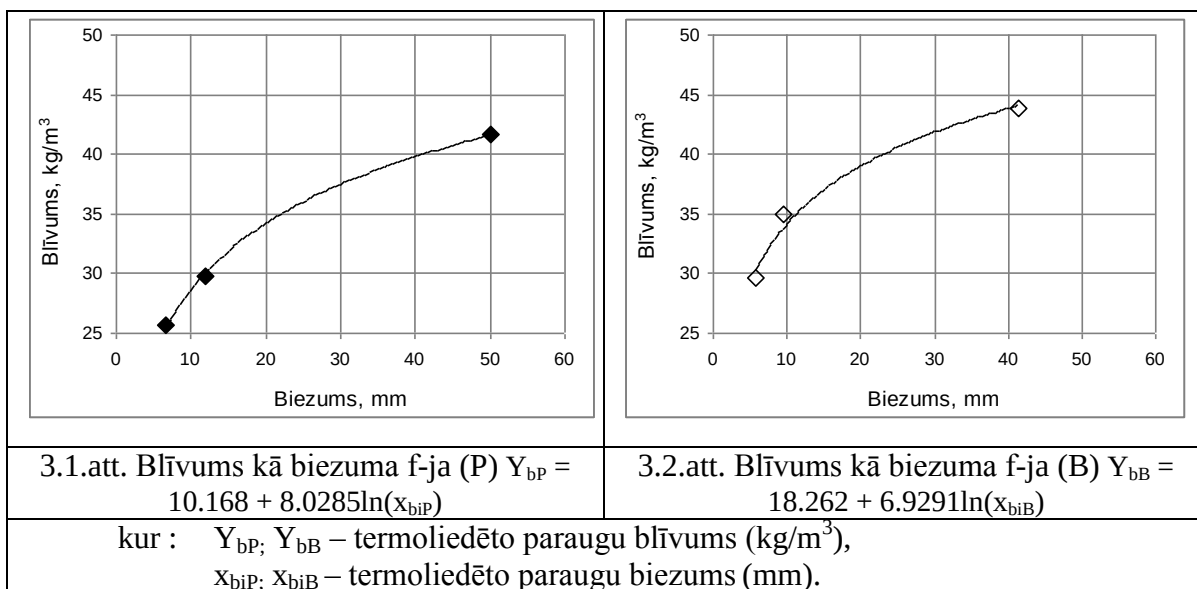
pretoties atkārtotām deformācijām, ko rada darba orgāni tehnoloģiskajos procesos, savukārt ekspluatācijas gaitā izolācijas materiāli šādām iedarbībām netiek pakļauti.

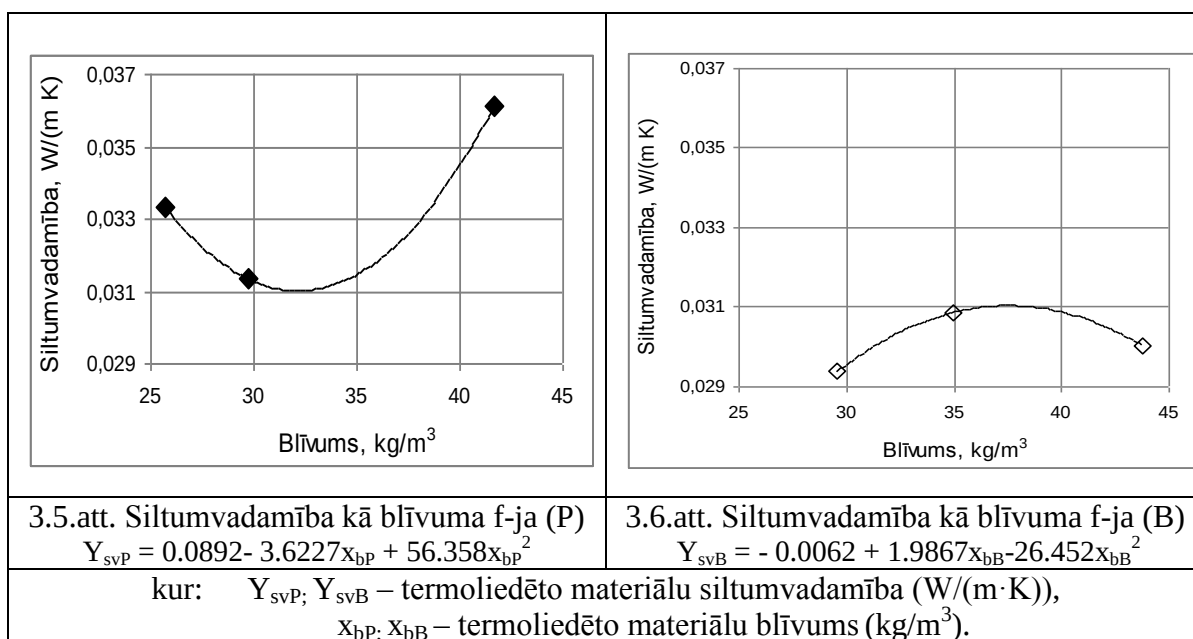
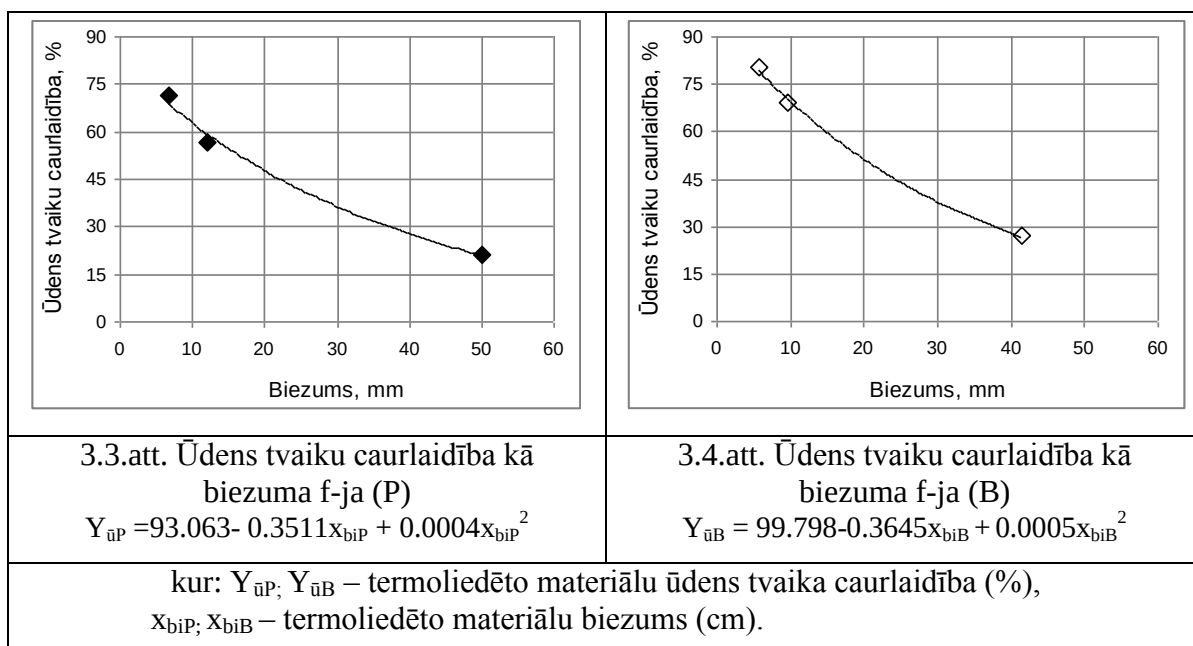
3. REZULTĀTI

Eksperimentu gaitā izgatavoti siltumizolācijas materiālu paraugi no kaņepju šķirņu Pūriņi (P) un Bialobrzeskie (B) šķiedrām ar termoliedēšanas (T), cauradatošanas (N) un caurstrūklošanas (H) tekstiltehnoloģiju. Katras tehnoloģijas ietvaros izgatavotas trīs dažāda biezuma paraugu grupas un novērtētas to ēku siltumizolācijas lietojumos svarīgākās īpašības, analizēta tehnoloģiju ietekme uz iegūto materiālu īpašībām, kā arī veikta ekspluatācijas īpašību un izmaksu salīdzinoša analīze.

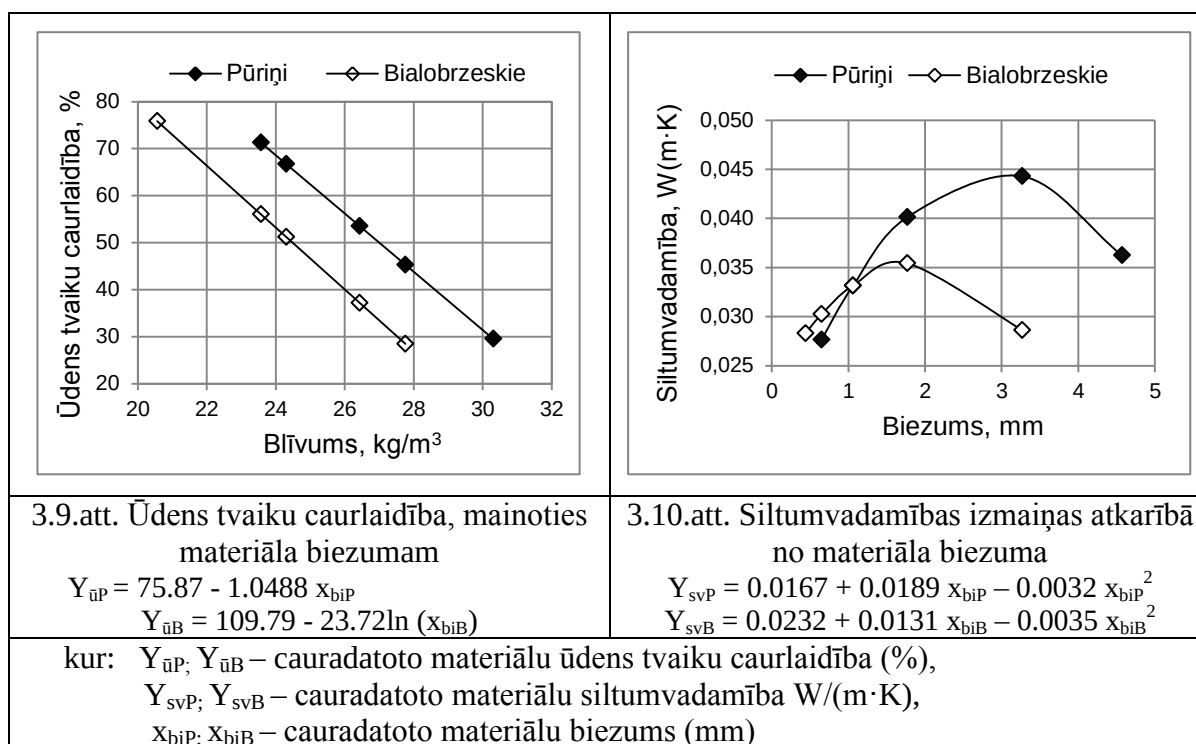
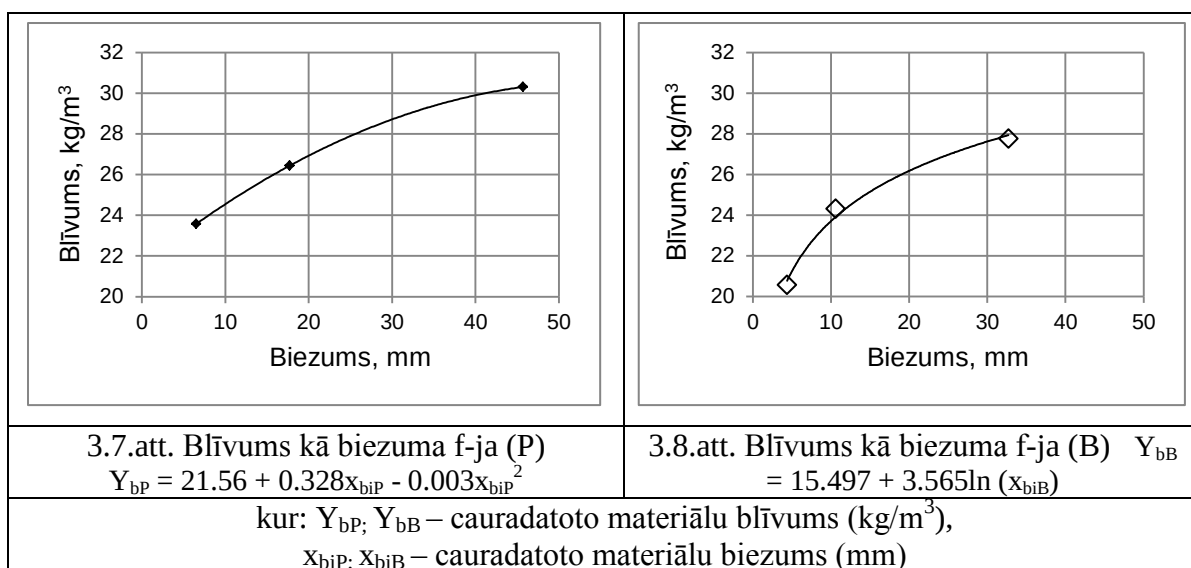
Eksperimenta ietvaros pētītas kaņepju šķirņu Pūriņi (P) un Bialobrzeskie (B) šķiedru puscikla un daudzciklu mehāniskās īpašības, salīdzinot šķiedru stiprības rādītājus un šķiedru izturības ciklu skaitu daudzkārtējā stiepē.

Termoliedēto siltumizolācijas materiālu biezumam robežās no 10- 40 mm atbilstošais P šķiedru materiālu blīvums ir par 4 līdz 5 kg/m³ mazāks (3.1. un 3.2.att.), ūdens tvaiku caurlaidība par 7 līdz 8 % mazāka (3.3. un 3.4.att.), un vidējie poru izmēri par 15 % zemāki nekā B šķiedru materiāliem. Eksperimenta ietvaros P šķiedru materiālu siltumvadāmība (3.5. un 3.6.att.), variē diapazonā no 0.031- līdz 0.036 W/(m·K) (25.7 līdz 41.7 kg/m³) un no 0.029- 0.031 W/(m·K) B šķiedru materiāliem (29.6- 43.8 kg/m³), P šķirnes paraugi aizdegas par 56% ātrāk, izdala par 26% lielāku siltuma daudzumu un uzrāda par 28% mazāku maksimālo degšanas jaudu nekā B šķiedru paraugi.

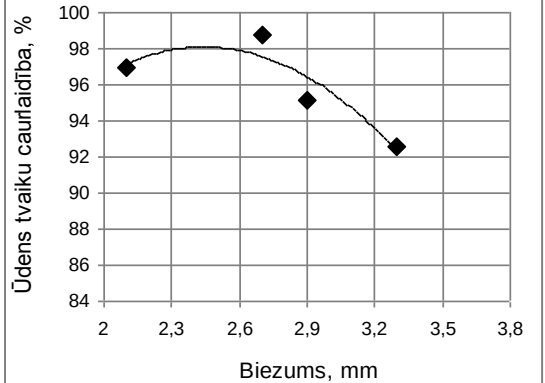
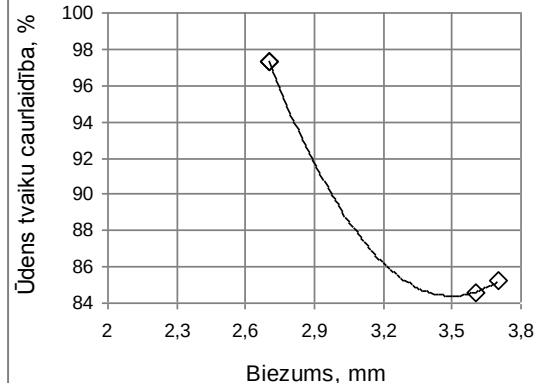
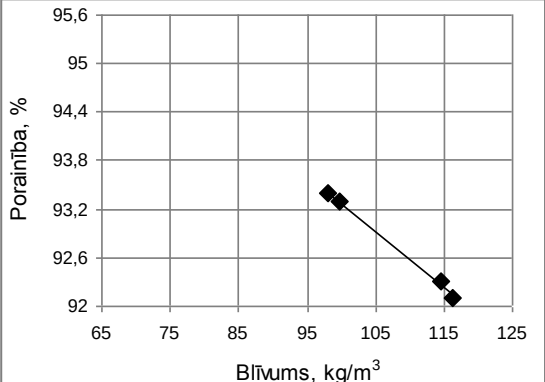
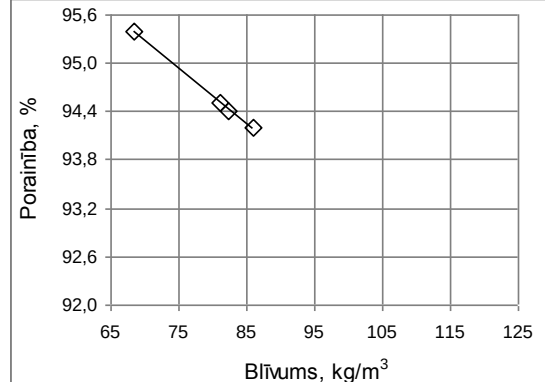
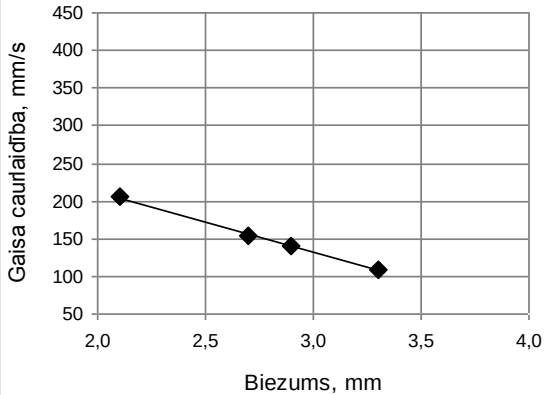
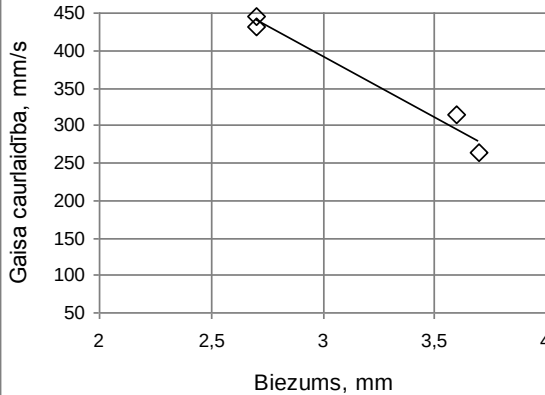


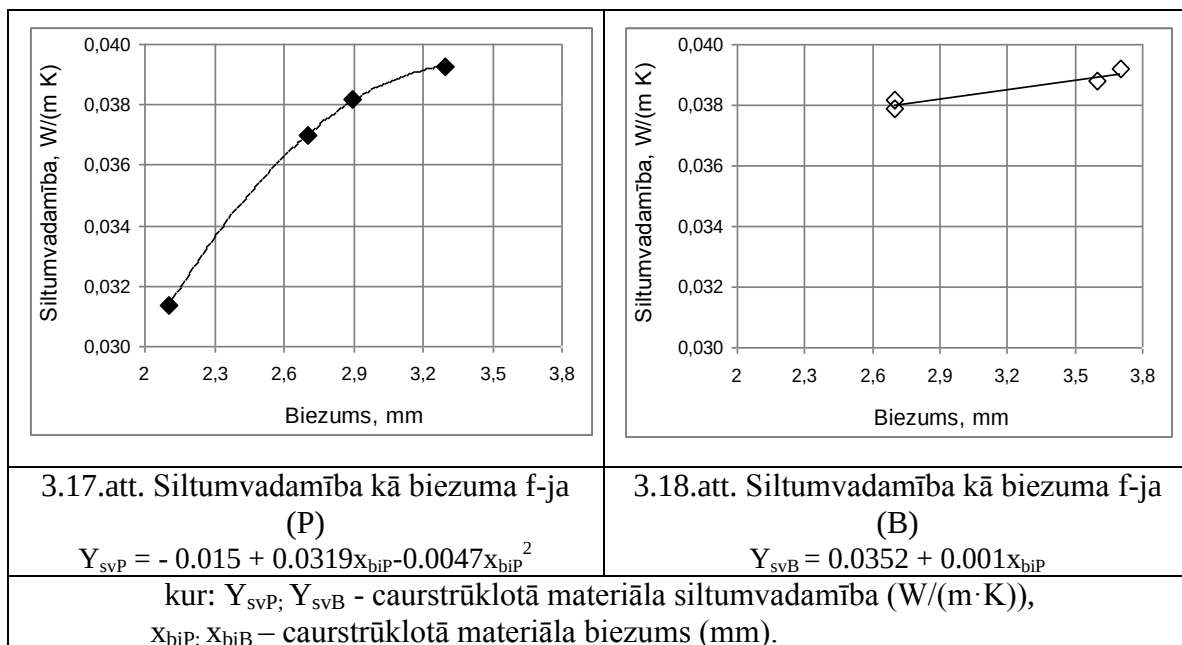


Cauradatoto siltumizolācijas materiālu biezumam robežās no 6.5 līdz 32.7 mm atbilstošais B šķiedru materiālu blīvums ir vidēji par 4.5 % mazāks (3.7. un 3.8.att.), un ūdens tvaiku caurlaidība ir 1.3 reizes zemāka nekā P šķiedru materiāliem (3.9.att.). B šķiedru materiālu siltumvadāmība variē robežās no 0.028 līdz 0.033 W/(m·K) un no 0.028 līdz 0.040 W/(m·K) P šķiedru materiāliem (3.10.att.). P šķiedru paraugu aizdegšanās laiks ir par 50 % mazāks, bet par 17% mazāk siltumu degot izdala B šķiedru materiāli.



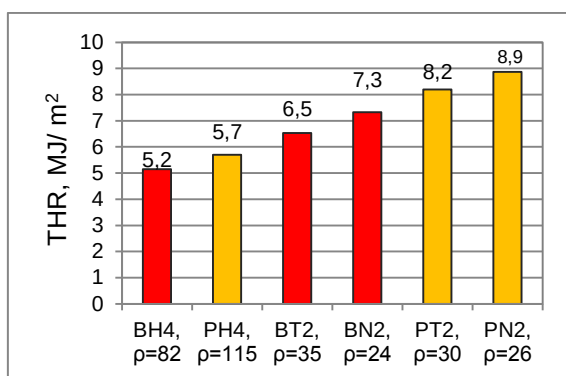
Caurstrūkloto P šķirnes šķiedru materiālu vidējais blīvums par 35%, vidējā ūdens tvaiku caurlaidība (3.11. un 3.12.att.) par 5% pārsniedz B šķiedru materiālu attiecīgos rādītājus, kā arī to vidējie poru izmēri ir par 28% mazāki un vidējā porainība par 1.9 % zemāka (3.13. un 3.14.att.). P šķiedru materiālu gaisa caurlaidība ir par 20% mazāka (3.15. un 3.16.att.), bet vidējā siltumvadāmība par 6% zemāka nekā B šķirnes paraugiem (3.17. un 3.18.att.); savukārt B šķiedru paraugi aizdegas par 32% lēnāk, degot izdala par 10% mazāk siltuma un sasniedz par 11% lielāku maksimālo degšanas jaudu nekā P paraugi.

	
3.11.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (P) $Y_{\bar{u}P} = 50.495 + 38.93x_{biP} - 7.9583x_{biP}^2$	3.12.att. Ūdens tvaiku caurlaidība kā biezuma f-ja (B) $Y_{\bar{u}B} = 330.88 - 140.81x_{biB} + 20.111x_{biB}^2$
kur: $Y_{\bar{u}P}$; $Y_{\bar{u}B}$ – caurstrūklotā materiāla ūdens tvaiku caurlaidība (%), x_{biP}; x_{biB} – caurstrūklotā materiāla biezums (mm).	
	
3.13.att. Porainība kā blīvuma f-ja (P) $Y_{pP} = 100.26 - 0.0699x_{bP}$	3.14.att. Porainība kā blīvuma f-ja (B) $Y_{pB} = 100.18 - 0.0699x_{bB}$
kur: Y_{pP}; Y_{pB} – caurstrūklotā materiāla porainība (%), x_{bP}; x_{bB} – caurstrūklotā materiāla blīvums (kg/m³)	
	
3.15.att. Gaisa caurlaidība kā biezuma f-ja, P $Y_{gP} = 373.63 - 80.605x_{biP}$	3.16.att. Gaisa caurlaidība kā biezuma f-ja, B $Y_{gB} = 872.37 - 160.1x_{biB}$
kur: Y_{gP}; Y_{gB} – caurstrūklotā materiāla gaisa caurlaidība (mm/s), x_{biP}; x_{biB} – caurstrūklotā materiāla biezums (mm).	

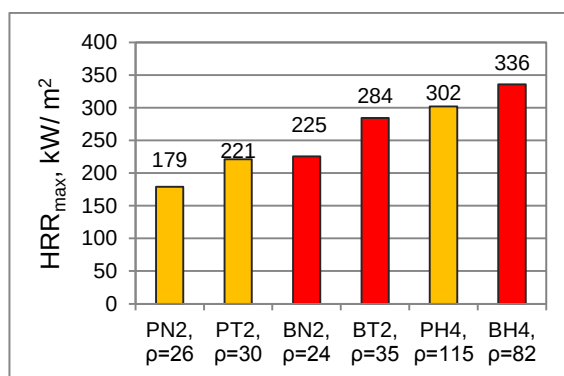


Caurstrūkloto materiālu vidējā ūdens tvaiku caurlaidība ir augstāka, poru izmēri, porainība un siltumpretestība zemāka nekā attiecīgie termoliedēto un cauradatototo materiālu rādītāji. Siltumvadāmība visa eksperimenta ietvaros variē no 0.028 līdz 0.040 $W/(m \cdot K)$, kas ir līdzvērtīga tādiem celtniecībā lietojamiem siltumizolācijas materiāliem, kā minerālvate (0.030 līdz 0.045 $W/(m \cdot K)$). Termoliedētie materiāli aizdegas visātrāk, caurstrūklotie vislēnāk.

Visu trīs tehnoloģiju B šķirnes šķiedru paraugi uzrāda mazāku kopējo izdalīto siltumu (THR), tai pat laikā to maksimālā degšanas jauda (HRR_{max}) ir augstāka nekā P šķirnes paraugiem (3.19.att. un 3.20.att.), kas veicinās straujāku ugunsgrēka izplatību.



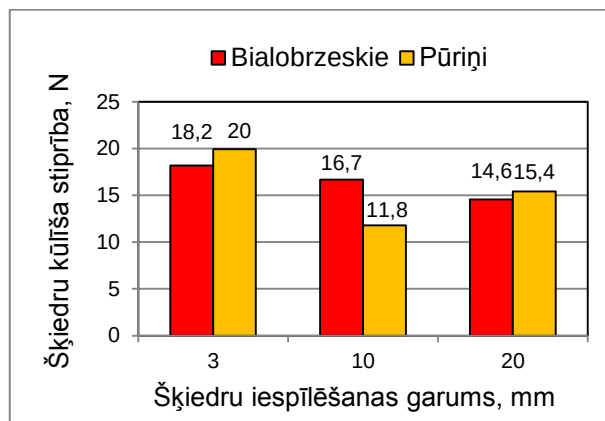
3.19.att. Kopējais izdalītais siltums



3.20.att. Maksimālā degšanas jauda

Variējot kaņepju šķiedru kūlīša iespīlēšanas garumu robežās no 3 līdz 15 mm konstatēts, ka lielākās pārraušanas slodzes vērtības atbilst iespīlēšanas garumam 3 mm, jo šis iespīlēšanas attālums atspoguļo elementāršķiedru summāro pretestību pārraušanai (3.21.att.). Palielinot iespīlēšanas garumu tiek mērīta garāko elementāršķiedru pārraušanas

pretestība un īso šķiedru pretestība izvilkšanai no kompleksa, līdz ar to konstatētā pārraušanas slodze ir zemāka.

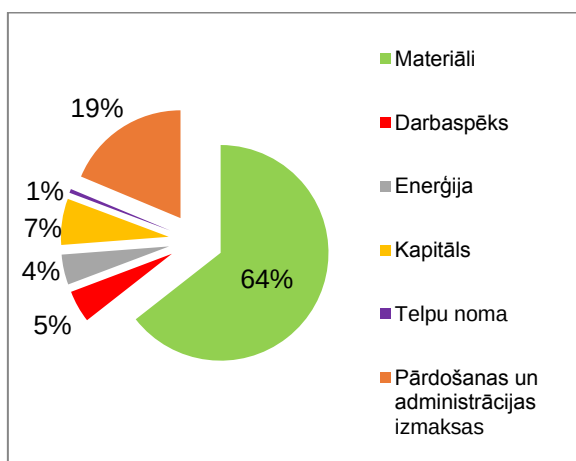


3.21.att. Pūriņu un Bialobrzescie šķiedru kūlīšu vidējā pārraušanas stiprība

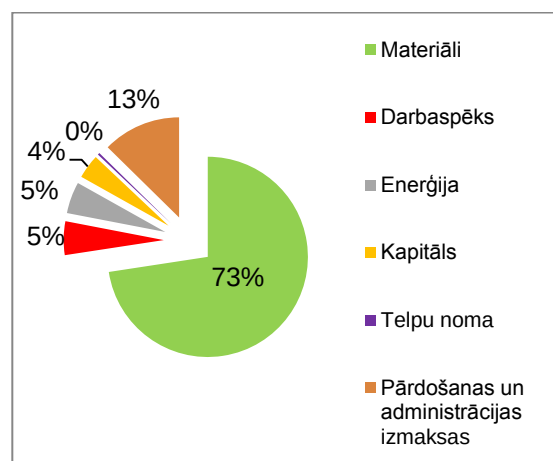
Izturības ciklu skaitu daudz ciklu stiepē galvenokārt ietekmē amplitūda, pie tam vairāk reaģē Pūriņu šķiedras: palielinot amplitūdu no 0.2 līdz 0.3 mm, B šķiedru kūlīšu vidējais izturības ciklu skaits samazinās par 19%, bet P - par 31%.

Iespējamo izmaksu analīze rāda, ka iegādājoties lietotas tehnoloģiskās līnijas, 50 mm bieza kaņepju šķiedru izolācijas materiāla (blīvums 40 kg/m³, virsmas blīvums 2000 g/m²) pilnas izmaksas ir:

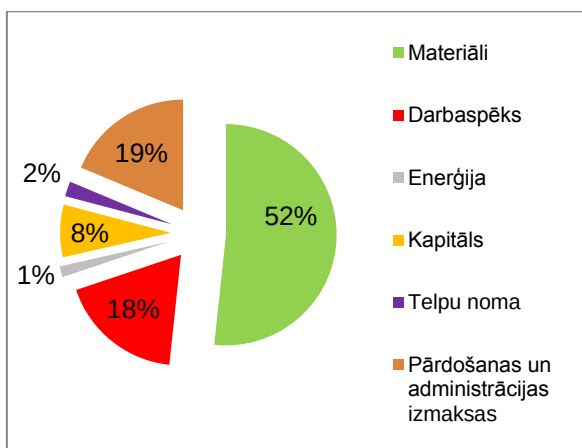
- 1) termoliedēšanas procesā 2.67 EUR/m² (viena maiņa) vai 2.37 EUR/m² (divas maiņas), skatīt 3.22.att.un 3.23.att.;
- 2) cauradatošanas procesā 2.90 EUR/m² (viena maiņa) vai 2.54 EUR/m² (divas maiņas), skatīt 3.24.att.un 3.25.att.;



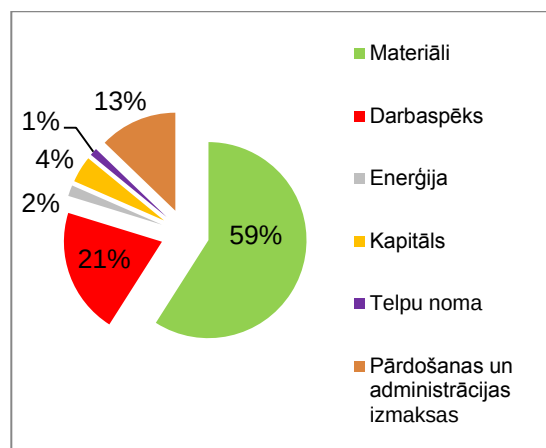
3.22.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 1 maiņa



3.23.att. Termoliedēto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 2 maiņas



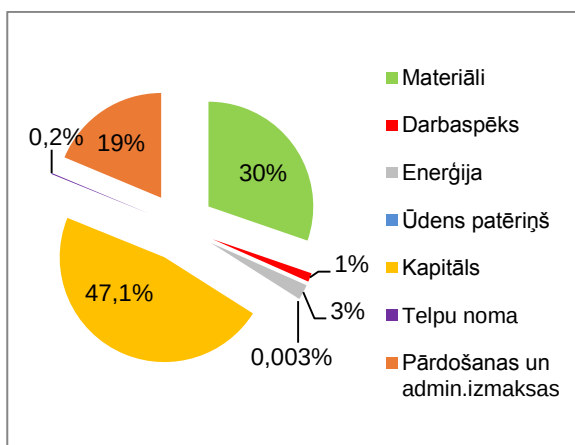
3.24.att. Caurdatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 1 maiņa



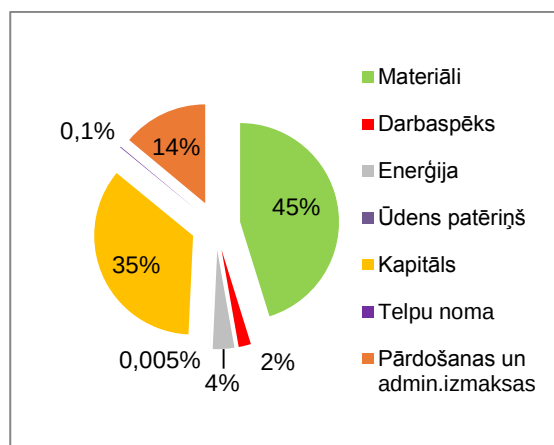
3.25.att. Caurdatoto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 2 maiņas

Neskatoties uz to, ka termoliedēto materiālu izmaksas palielina sastāvā ietilpstošās PE-PP saistšķiedras un 10 reizes lielāks elektroenerģijas patēriņš, aprēķinā izmantotā termoliedēšanas tehnoloģiskā līnija ir 4 reizes ražīgāka nekā caurdatošanas līnija, rezultātā termoliedēto materiālu pašizmaksa ir zemāka.

Caurstrūklošanas tehnoloģiskās līnijas iegādes izmaksas ir ļoti augstas, jo tā ir jauna un komplicēta tehnoloģija, lietotas iekārtas nav pieejamas; arī elektroenerģijas patēriņš ir stipri lielāks. Neskatoties uz tās augstajām kapitāla izmaksām un lielu energoietilpību, ko kompensē iekārtu produktivitāte, caurstrūklošanas tehnoloģiskā līnija ļauj iegūt 3 mm biezu izolācijas materiālu ar blīvumu 60 kg/m^3 un virsmas blīvumu 180 g/m^2 nepārsniedzot 0.45 EUR/m^2 (viena maiņa) vai 0.31 EUR/m^2 (divas maiņas), skatīt 3.26.att.un 3.27.att.



3.26.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 1 maiņa



3.27.att. Caurstrūkloto siltumizolācijas materiālu izmaksu struktūra, 2 maiņas

SECINĀJUMI

- Pirmo reizi veikti kompleksi pētījumi, analizējot Latvijā audzētu kaņepju šķiedru (šķirnes Pūriņi, Bialobrzieskie) un neausto materiālu tekstiltehnoloģiju (termoliedēšanas, cauradatošanas un caurstrūklošanas) piemērotību izolācijas materiālu izgatavošanai un to ietekmi uz siltumizolācijas materiālu īpašībām.
- Izstrādāti neausto siltumizolācijas materiālu prototipi, pētītas to īpašības un veiktas īpašību salīdzinošas analīzes, kas sekmē kaņepju šķiedru izmantošanas un neausto materiālu nozares attīstību Latvijas tautsaimniecības un ekoloģijas problēmu risinājumu meklējumu kontekstā gan Latvijā, gan arī citās ES valstīs.
- Analīzes rezultātā noskaidrots, ka neausto materiālu tekstiltehnoloģijas ļauj izgatavot neaustos materiālus no Latvijas klimatiskajos apstākļos audzētu kaņepju šķiedrām ēku siltumizolācijas lietojumiem, kas ir konkurētspējīgi ar līdzīgu, uz dabīgo materiālu bāzes izgatavotu, tirgū pieejamu materiālu siltumtehniskajām īpašībām.
- Pētījums ir nozīmīgs solis kaņepju šķirņu, to augšanas apstākļu un gala produkta (siltumizolācijas materiāls) īpašību saiknes veidošanā.
- Darbā pierādīts, ka, lai arī Latvijā selekcionēts kaņepju genotips Pūriņi ir izteikta sēklu šķirne, tomēr šķiedras to atbilstošo īpašību dēļ kā blakusprodukts izmantojams ēku siltumizolācijas materiālu ražošanā, kas ļauj uzlabot uzņēmējdarbības rentabilitāti. To var attīstīt kā Latvijas klimata īpatnībām un veģetācijas perioda garumam atbilstošu jauktu - sēklu/ šķiedru rūpniecisku šķirni.
- Veiktie siltumizolācijas materiālu ekonomisko aprēķinu rezultāti liecina, ka patlaban Latvijas tautsaimniecībai izmaksu ziņā vairāk piemērota ir cauradatošanas tekstiltehnoloģija, jo tā patērē mazāk elektroenerģiju, nav vajadzīgas sintētiskās saistšķiedras, pie patreizējiem kaņepju audzēšanas apjomiem Latvijā ir nodrošināta ar pietiekamu šķiedru daudzumu; iegūto kaņepju šķiedru izolācijas materiālu izmaksas ļauj noteikt konkurētspējīgu cenu salīdzinājumā ar tirgū pieejamu augu izcelsmes un kokšķiedru šķiedru materiālu cenām.
- Pētījuma rezultāti ir noderīgs materiāls kaņepju šķiedru neausto materiālu ražošanas uzsācējiem viņu praktiskajā darbā, var tikt izmantoti arī profesionālās izglītības sistēmā. Rezultāti jau izraisījuši uzņēmēju interesi, kas plāno esošo kaņepju pirmapstrādes līniju papildināt ar tehnisko tekstīliju ražošanas līniju. Tādējādi uzņēmumā saražotās šķiedras varēs realizēt produktā ar pievienotu vērtību izgatavošanā.

- Pētījumus iespējams attīstīt, meklējot piemērotākas blīvuma, biezuma, siltumvadāmības attiecības, variējot saistvielu daudzumu, meklējot ekoloģiskas un ekonomiski izdevīgas saistvielu alternatīvas, integrējot tehnoloģijās apstrādes ugunsdrošības uzlabošanai.

INTRODUCTION

Energy and raw material costs, an increase in environmental pollution, greenhouse gas emissions, global warming, depletion of fossil raw materials stimulate to seek and study alternative synthetic fibers and products made from them for full or partial replacement. Renewable raw materials, including natural fibers, is the future storage of resources with a variety of positive effects on both the planet ecosystem and the living and working environment, and the energy consumption of delivering the required functionality. One of the most important energy-saving types is to reduce energy consumption in buildings by insulating them.

In 2012th the world fiber production increased to 88.5 million tonnes, it is increase of 1.9 % over the year 2011. Of these, 32.5 million tons were natural and 56 million tons synthetic fibers. On the other hand , the fiber volume reached 85.8 million tons, an increase of 4.5 % over the previous year. This constitutes a significant growth acceleration compared to the 1.7 % increase in the year 2011. [1] According to Global Industry Analysts research data, which is positioned as one of the world's largest and most well-known market research companies, it is expected that global textile market will reach 93 million tons until year 2015. [2] It is expected that the world population will continue to increase from the current 7 billion people to about 9 billion in the year 2050. [3] In the year 2012 with fiber consumption of 85.8 million tons, worldwide each citizen consumed an average of 12.2 kg of textile. [1] With the increase in population it is expected that the global fiber demand will grow by an average of 3 % per year. [4] Consequently, the demand for technical textiles including nonwoven insulation applications is and will be growing.

Currently, the world's largest renewable fiber market part with a share of around 85% covers cotton. Of cotton is made about 40 to 50% of the textiles. [2] However, the cotton fibers associated with high energy consumption and environmental pollution caused by farming pesticides and herbicides used. Besides cotton suitable lands is declining in India, China and Pakistan, which dominate the global cotton production. [2] Gradually, evolve other natural fiber alternatives. Cellulose fibers (except cotton) production volumes in the year 2012 was 10.2% higher than in the 2011, and reached 5.2 million tons. Overall, this is the most dynamic fiber segment of the decade as the average annual growth rate since year 2000 is 5.4%. [1]

For Latvian conditions suitable fiber crops are historically grown fiber flax and hemp. Within the framework of the studies hemp fibers are being used. Hemp compared with flax less suffers of diseases and are less damaged by pests, so hemp cultivation is practically free from use of chemical pesticides and herbicides. [5] This in turn reduces the risk to the ecosystem. One of the most frequently mentioned industrial hemp raw materials positive qualities is their very wide use, practically all plant can be used in manufacture of products. Bast fibers are processed in the textile, paper, building materials, chemical, automotive industries. All straw is used as a green mass in power sector, chemical industry, shives are processed in building materials, in the power sector, chemical industry, agriculture. From seed is produced oil for food, pharmacy, power sector, chemical industry, agriculture.

Hemp fiber is traditionally processed mainly into woven textile applications, but in recent decades increased interest has focused on the processing of non-woven technical textile applications. Bast fibers insulation materials are considered to be eco-friendly materials, which is one of the most important benefits.

Also for Latvia is important to look for ways how to produce sustainable products by using local natural fibers. Current research explores the possibilities how to process in the Latvia grown hemp into the non-woven materials for insulation applications.

Among the positive features of the hemp fibers use in the buildings insulation must be mentioned low energy consumption, high carbon dioxide absorption throughout the life cycle, made from renewable raw materials, good permeability properties of the material which allows to maintain a positive indoor climate for health; good thermal performance comparable to other in market existing insulation materials. Thus, hemp is considered as a valuable culture that opens up opportunities for the development of both agriculture and manufacturing.

The aim of the research work:

To perform complex research by evaluating the impact of non-woven technologies on the hemp fiber insulation materials properties and to develop thermal insulation materials prototypes of the local annual renewable resource base.

In order to implement the aim following tasks were defined:

1. To identify and analyze for the thermal insulation materials production suitable non-woven materials development methods and technologies; to make comparative analysis;

2. To undertake nonwovens experimental samples development under laboratory conditions by using two varieties of the hemp fibers with three high-efficiency technologies;
3. To test and evaluate physical properties of the developed samples;
4. To identify and systematize other in the global market existing insulation materials properties and compare with results of the samples manufactured within research.
5. To carry out developed non-woven insulation materials economic assessment and compare with in the global market existing hemp fiber insulation material prices.

Actuality of theme:

In Latvia a growing interest in industrial hemp cultivation has been observed since year 2008. The demand for technical hemp fibers in the global market tend to grow. As the industry in Latvia is young and non-woven technical textile production experience in the last twenty years has been lost, there is an urgent need for a multi-oriented scientific research targeting on Latvian grown hemp fiber processing opportunities study and sustainable final product assortment, with high added value, development.

To restore the seed and fiber hemp cultivation in Latvia, seed/ fiber hemp variety Purini based on local clones is in ongoing creation process. Fibers will be a byproduct. Full- solution making process requires to perform appropriate studies in the result of which for farmers and businessmen can be offered opportunities to recycle not only the seeds, but also the straws into the products with the highest possible added value. Research carried out within these thesis makes an important contribution in chain of problems "farmer - seed - field - product- application" solutions. It includes for Latvian climatic conditions suitable hemp seed "Purini" fiber technical characteristics comparison with European variety "Bialobrzeskie" fiber properties, as well as development of insulation materials prototypes by applying non-woven material textile technologies, and developed materials properties comparative analysis results.

By developing technical textiles - insulation materials prototypes, and restoring hemp cultivation and non-woven materials production traditions in Latvia, would ensure an opportunity to promote both agricultural and industrial development, as well as manufactured products export.

Selected theme topicality is also associated with fossil-based raw materials thermal insulation materials harmful effects on human and environmental health reduction, environmental condition improvement. One of the problem solving capabilities is insulation materials creation based on the local, rapidly renewable raw materials.

The practical importance of the thesis:

The thesis gives an overview of hemp fibers non-woven insulation materials manufacturing technologies applications. The research results can be used in technical textiles manufacturing and assortment planning. It is a useful material for hemp fiber nonwovens manufacturing start-ups in their practical work. Study substantiates and strengthens hemp cultivation and processing as an important field in the Latvian economy. It offers an integrated approach to synchronous agricultural and hemp processing development as well as non-woven insulation material prototypes, physical properties tests comparative analysis results and the testing methods descriptions for potential investors and businessmen. The various of considered aspects can be used in the field of the professional education system.

The novelty of the thesis:

In Latvia so far have been undertaken few fragmentary studies on hemp fiber insulation material compositions possible variants, where samples have been developed with handicraft technologies and identified only some of their properties. Within these thesis complex research studies were carried out by linking the origin of fibers and nonwovens manufacturing production technologies (thermal-bonding, needle-punching, hydro-entanglement) with non-woven heat insulation materials properties and their comparative analysis, as well as proposed insulation materials prototypes, including those made from Latvian genotype "Purini" fibers, are topic novelties. The direction is economic and ecological problems solutions findings for both Latvia and other EU countries. The paper demonstrates that although hemp genotype "Purini" is typical variety of seeds, the fibers can be equivalently used in the insulation materials by providing the required functions and offset the lower stem mass with abundant seed yield, which is a valuable raw material for food and technical products production. Genotype "Purini" can also provide seeds for the next sowing season.

4. ANALYSIS OF THE SITUATION

Attention which is focused on climate changes, the environment and health promotion issues concerns, a more efficient use of resources, has led to enhanced tendency to focus on natural, renewable, biodegradable materials, including bast fibers. European Economic and Social Committee encourages the promotion of natural fibers, including flax, hemp, wool, cellulose fibers and biopolymers production to provide a manifold economic sectors with local raw materials. The rapid growth in population also contribute the potential for future of natural fibers, other than cotton, spread and use in various products, including the insulation materials of buildings industries. In average is consumed approximately 12.2 kg fibers per capita per year. Synthetic fibers rising costs have increased the demand for natural fibers as well.

As one of the most effective resources use areas is the reduction of energy use, where the potential for significant savings is in the buildings sector; it uses 40% of total EU energy consumption. As reported in the European Parliament and Council Directive "2010/31/EU about energy performance of buildings", the EU has to reduce energy consumption by 20% until year 2020. In the guidance provided of the Republic of Latvia and EU regulatory documents it is also pointed out that reduction can be achieved by insulating buildings. Non-renewable resources full or at least partial substitution with renewable resources, by applying existing technologies, make it possible to use hemp fibers in the non-woven insulation materials production. European Industrial Hemp Association provided data of the years 2009/ 2010 shows that the EU produced 35'000 tons of hemp fibers, 25.9 % of them were used in the insulation materials production.

Positive arguments of hemp fibers use in the insulation materials are their thermal and sound insulation properties, the positive impact on the indoor microclimate, water vapor permeability ("breathable"), condensation control, sufficient resistance to microorganisms, ability to install without the use of protective clothing and respirators. As an important aspect is also their environmental performance, i.e., low energy consumption and greenhouse forming gas savings across the whole life cycle, recycling options, they do not cause toxic substances while burning. In addition, the hemp inclusion into the crop rotation improves soil structure, and can be grown without or with a small amount of fertilizers, no plant protection needed. The increasing interest in hemp has arise partly due to the fact that in the world is rapidly increasing deforestation; in addition from hectare of

hemp can obtain four times more fibers than from the trees and one hectare of hemp while growing absorbs up to 18t of CO₂, in one tonne of dried hemp is stored 325 kg of CO₂.

The restrictions include the need for thicker walls as well as to ensure fire characteristics, adequate to fire safety regulations, additional treatment is required. Dew retting of hemp occupy large areas, while soaking in water basins pollute the water, and its purification is an additional expense. Pretreatment processes produce a lot of dust, but because they are relatively large, don't penetrate deep in the body, so are less harmful.

Although synthetic fiber non-wovens own a number of positive features, however unlike the renewable resource fiber materials, by combusting they pass out harmful gases, as well as, in the installation and period of the use, emits harmful dust. In the most cases they are not biodegradable and vapor-permeable or by increase and decrease of relative humidity, material can not absorb moisture from the atmosphere and release it. It does not prevent condensation and mold threat.

In spite of renewable and non-renewable raw materials ratio of the pluses and minuses, currently more than 80% of the fibers used in the manufacture of technical non-woven materials are synthetic fibers. Various patents on natural fibers are also available, including hemp insulation materials and manufacturing techniques. Needle-punching and hydro-entangling technologies allow to produce non-woven materials with no synthetic binders, using only natural fibers. Needle-punching is the most popular non-woven material technology - 30% of the world's non-woven materials, including for insulation applications, are produced with it. Process takes place by needle-punching with the own material fibres. Hydro-entangling as a very high-performance technology with high-pressure water jets is the fastest growing non-wovens technology. It is possible to produce very thin and dense non-woven materials, but unlike needle-punching and thermal-bonding technologies it does not allow to get thick non-woven materials. Patents describe a variety by hydro-entangling technology obtainable non-woven applications in the field of thermal insulation, where as a raw material are used hemp fibers. For example, wall facings element, system element of permeable insulating material production, etc. On the other hand, by using thermal-bonding technology, to fibers derived from renewable resources is added at least 5% of binding fibers (may be both - synthetic and natural). This technology is used in the manufacture of insulation materials by such companies as *Hemp Technology Ltd* (UK), *Biofib'Isolation* (France), *Steico* (Poland) *HempFlax Deutschland GmbH* (Germany), *Nature Pro* (UK), *Black Mountain Insulation Ltd* (UK), etc.

Bast fibers insulation material lifetime is half a century. Bast fibers can fulfill the main function of insulation materials, i.e., to reduce the transmission of heat, because they have a porous structure, low diameter and low fiber density. Cellulosic non-woven thermal insulation properties affect both - fiber properties and non-woven material physical as well as structural properties. There is an evidence that even within one type of culture (e.g., hemp), effects of a variety can be manifested as changes in heat transfer. The thermal conductivity, diameter, length and orientation of the fiber plays an important role of non-woven material thermal conductivity: the finer fibers with smaller diameter increase the absorption area, thereby insulating ability. Therefore, by developing materials, it is important to know not only the non-woven material, but also the properties of hemp fibers. The fiber properties are affected by the variety, growing conditions, climate etc. Relatively not so long hemp growing experience has shown that in the Latvian climatic conditions inhabits well in Poland established technical fibers monoecious hemp variety Bialobrzeskie. However the problem is relatively long growing season. In Latvian climate it creates a number of risks: seeds are not ripening for the next sowing season; with the onset of rain period it is not possible to remove the straw and it should be left on the field until the spring, delaying the processing of the field, as well as lowering the quality of the straws harvested in the spring. To reduce these risks it is desirable to create/ find, for the climatic conditions suitable, variety of hemp based on the clones which are adapted to the specific climate of the nature. Based on existing studies, of 25 potential candidate clones, the dioecious local genotype "Purini" released by the Latgales Agricultural Science center, is evaluated as a promising for Latvian climatic conditions suitable seed variety prototype. In the re-breeding process it could become the seed-fiber variety, as both "Bialobrzeskie" and "Purini" THC content are not exceeding 0.05% (determined for yields 2010 and 2011), which fully comply with the EU permissible standards. The genotype Purini is not yet included in the list of the hemp varieties who are entitled for support payments. To develop it into the variety which is included in the EU list of the industrial varieties, as well as identify and develop the potential of it applications, comprehensively research and comparative analysis should be carried out.

5. MATERIALS AND METHODES

Hemp fibres used in this study were obtained from hemp stems harvested from a trial plot of Latgalian Agriculture Research Centre of Latvia; vegetation period 2009 and 2010 year: [6-8] 1) a local dioeciously genotype “Purini” (P); 2) in Poland breded EU registered monoecious industrial hemp variety “Bialobrzeskie” (B). The non-woven samples made from the hemp of year 2010 and their physical properties were tested in the Centre for Technical Textiles laboratories at University of Leeds and in the RTU textile materials laboratories. Fiber tests were subjected of hemp obtained in year 2009.

To obtain non-wovens, P and B varieties fibers web's are produced by needle-punching, thermal-bonding and hydro-entangling technologies. Parallel-laid webs were prepared on laboratory type carding machine Tatham. Before fibers carding shives have been separated, followed by fibres pre-cut to 5 till 10 cm in length (hand made). Through experiments, within each technology 3 different thicknesses sample groups have been made (for hydro-entanling technology - 4) to evaluate important properties of the intended use, differences in the properties within the technology, and to analyze the impact of technology on the resulting material properties. Each variant granted with a 3- digit code. P or B added in the beginning of the code- indicates a variety of hemp, the second code mark identifiys the used technology: T- for thermal-bonded, N- for needle-punched and H- for hydro-entangled samples, and the third mark code numbers 1, 2, 3 or 4 are added as the web mass characteristic.

Within web formation process for **thermal-bonding**, on the carding machine's transport table one above the other are arranged hemp and PE-PP bicomponent fibers with respect of 92:8% to ensure equal PE-PP distribution in web. Before insertion in the drying chamber webs are moved into the thickness restrictive metal wire device to get a steady thickness across the width of the sample, and with it transported to the drying oven "Spooner". Web has been processed from the top with hot air at 145°C, duration of treatment is determined according to the thickness of the sample (1 min. per each material centimeter). The process was repeated to the other side of the sample. As a result, the T1 sample treatment lasted for 2 minutes, T2 - 4 min., the thickest T3 samples thermal-bonding process took 20 minutes (10 min. on each side). Non-woven specimens were made from carded webs by means of **needle-punching**. Needle-punching was performed on 30 cm wide sample needle loom with 36 gauge regular 3 barb needles. The needles were arranged in the offset lines like a chess board. The shank gauge of the needle is 15 –

18 – 42. Penetration depth of the needles – 6.4 mm on both sides. Punch density – 75 punches/ cm^2 . Average web dimensions used for needle-punching were 0.6 x 0.4 m. The single-layered fabrics were combined to produce the multi-layered nonwovens. The resulting multi-layered samples were not additionally needle-punched. The aim of developing multi-layered needle-punched structures was to obtain the desired thickness with a limited number of fibres. **Hydro-entangling** was performed on a seven injector, 0.5 meters wide machine. Webs were pre-wetted and hydro-entangled using jet strips with a nozzle diameter of 150 μm at 100 bar (10 MPa) applied in an alternating face and back profile. The conveyor speed was fixed at 5 m/min. After hydro-entanglement a large part of the non-woven samples water content was removed by pumping, the remaining was dried in drying oven "Spoonier".

Before the non-woven materials physical properties testing, all nonwoven samples were conditioned under standard atmospheric condition EN 20139:1992, ISO 139:1973. [9] Obtained results processed with mathematical statistics methods, the relationship illustrated in graphs, described by mathematical models.

Nonwoven **thickness** was measured according to the standard EN ISO 9073-2:1997 [10] where method "C" with slight modifications was adopted to all thicknesses materials. Hydro-entangled samples tests were carried out on the machine "Shirley" with uniform pressure 0.02 kPa, i.e., 10 grams on 50.2 cm^2 big material sample area. Deviations from the standard procedure: 1) test sample size of 100 x 100 mm (according to the standard should be 200 x 200 mm), 2) measuring glass plate (200 mm $\pm$ 0.2 mm) x (200 mm $\pm$ 0.2 mm) weighing 82 $\pm$ grams substituted to 100 x 100 mm cardboard plate. Fabric mass per unit area (g/m^2) determined in accordance with standard LVS EN 29073-1:2001, [11] with following modification: test area of the sample was 10 000 mm^2 instead of 50 000 mm^2 . Five samples of each variant have been weighted using a balance with an accuracy of 0.001 grams. The **density** of the nonwovens (kg/m^3) has been calculated by dividing the nonwoven mass per unit area by the material volume. **Thermal resistance** ($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$) was measured according to standard BS 4745:2005 [12] by using two-plate method with fixed pressure procedure. **Air permeability** (mm/s) tests in accordance with standard LVS EN ISO 9237:2001 [13] performed on the machine "SDL Atlas Textile Testing solutions". From each hydro-entangled samples group were tested 10 samples (100 mm x 100 mm) at an air pressure differential of 50 Pa and a test area of 5 cm^2 . From obtained measurements the arithmetic mean of air permeability (l/ min) and air permeability coefficient was calculated. [13] **Water vapour permeability** was determined in accordance with BS

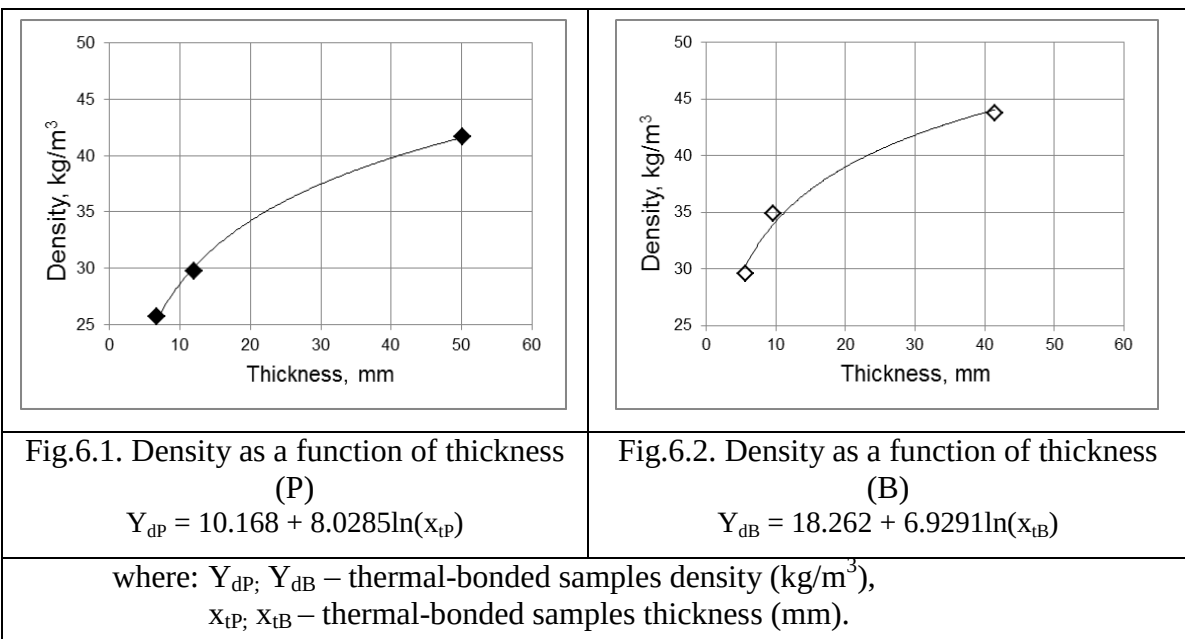
7209:1990. [14] Within the test process samples were rotated for 1 h to ensure uniform distribution of the water vapour, and are weighed to an accuracy of 0.001 g for comparison with the final data obtained from further disk rotation in a controlled atmosphere for 16 h. In order to apply the method to bulky non-wovens, sides of the dish were covered with a thin, fast-drying adhesive layer and carefully placed a sample on it. Outer edges of the samples were covered with the air and moisture-proof material to prevent air and moisture penetration and escape through the edges of the sample. Hydro-entangled samples were secured with a rubber ring instead of gluing. The non-woven **mean pore size** values determined by liquid extrusion method, which usually applies when an approximate pore diameter is in the range from 0.05 up to 50 μm . Testing of samples undertaken with methodology developed at the University of Leeds (UK) on equipment "Perm Porometer" using liquid "Galwick" with the surface tension of 15.9 dyne/cm. Hydroentangled samples H2 and H4 and thermobonded samples T1 of both varieties fibers were tested. Five samples of 400 mm^2 area (20 mm x 20 mm) from each samples group were made. Before beginning the experiment in a computer program was given the sample thickness and the nature of the liquid. Sample fixed among the metal bars was placed in a special container and poured with Galwic fluid to make it wet. The container is closed and placed in the machine. Resultsc were derived from an Excel program file in which each sample represents the mean pore diameter in microns. **Porosity** has been determined in accordance with the following equation: $P = 100 - \delta / \rho \times 100$ [15; 16] where P = nonwoven material porosity, %; ρ - fiber density, kg/m^3 ; δ - nonwoven material density, kg/m^3 . **Reaction to fire tests** performed with conical calorimeter in thermal radiation of $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ according to standard LVS ISO 5660-1 [17] methodology. The test sample dimensions were 100 x 100 mm. Samples were tested in delimiting frame which covers a sample from five sides. Prior to insertion into the Cone Calorimeter, sample had been put in the foil so that the upper surface is opened and doesn't interfere to fire effects. The test was terminated after the flame goes out. Data processing was performed with equipment specially designed for Cone CAL software that analyzes data such as ignition time, Maximum heat release rate, Total heat release and other parameters that characterize the combustion process.

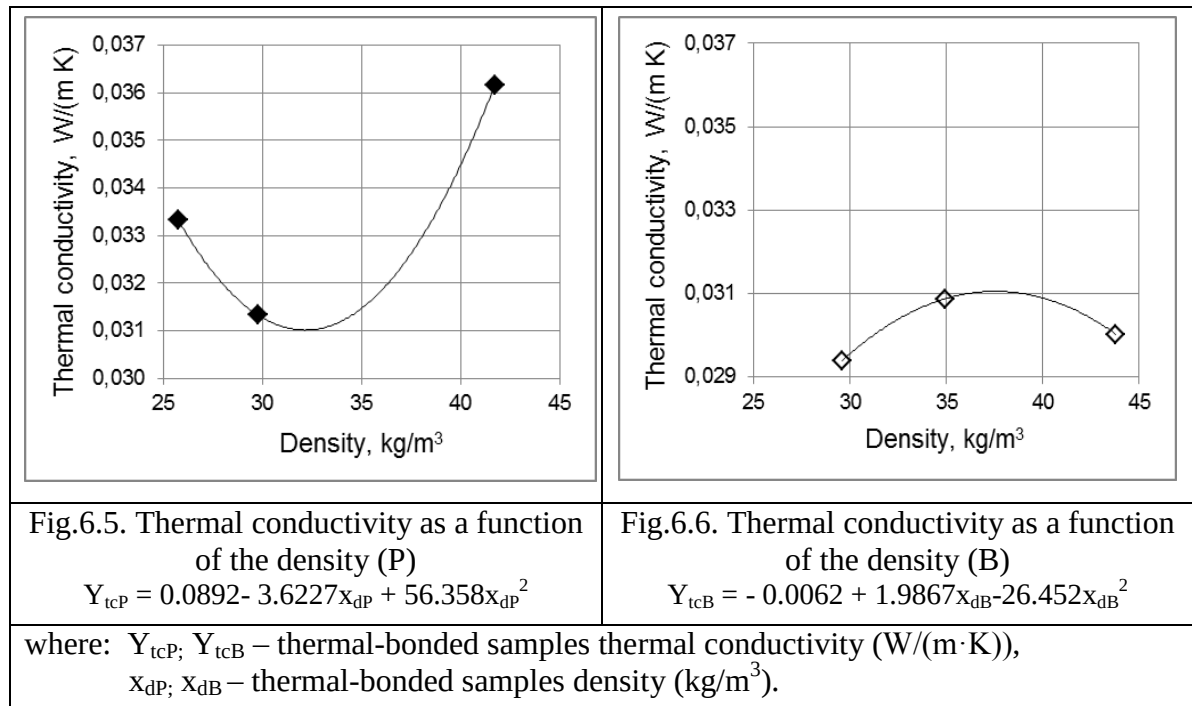
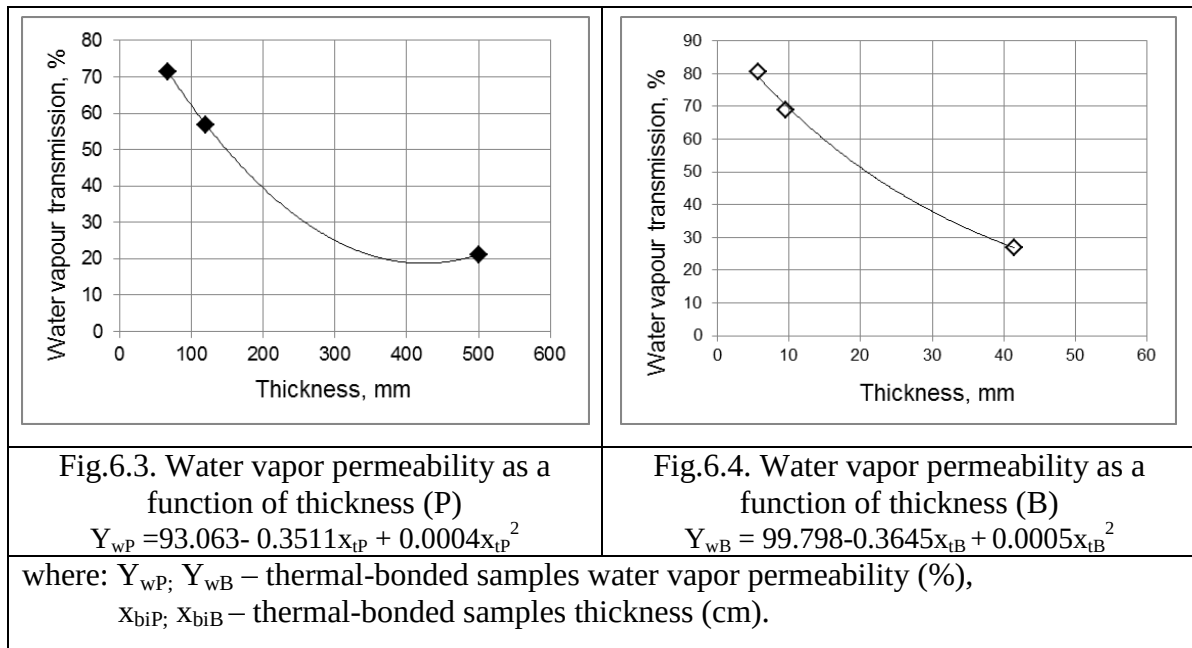
6. RESULTS

Insulation material samples have been made using hemp varieties Purini (P) and Bialobrzeskie (B) by thermal-bonding (T) needle-punching (N) and hydro-entangling (H) textile technologies. Within each technology the three groups of different thickness samples (in case of hydro-entangling technology - 4) were made and evaluated their most important properties for building insulation applications, analyzed the impact of the technology on the resulting material properties, as well as performed exploitation characteristics and comparative cost analysis.

Research on hemp varieties Purini (P) and Bialobrzeskie (B) fibers half a cycle and multi-cycle mechanical properties were carried out, by comparing the fiber characteristics of strength and fiber durability cycles number in multiple tension.

Thermal-bonded insulation materials thickness in the range of 10 up to 40 mm, corresponding P fibrous materials density is 4 to 5 kg/m³ lower (Fig.6.1. and Fig.6.2.), water vapor permeability is 7 to 8% lower (Fig.3.3. and Fig.3.4.) and the average pore size is 15% lower than for B fiber materials. Within experiment P fibers materials thermal conductivity (Fig.6.5. and Fig.6.6.) varies in the range of 0.031 up to 0.036 W/(m•K) (25.7 till 41.7 kg/m³) and 0.029 up to 0.031 W/(m•K) of B fiber materials (29.6 till 43.8 kg/m³). Samples of variety P ignite 56% faster, shows 26% higher Total Heat Release (THR) rate and produce 28% less Maximum Heat Release rate (HRRmax) than samples of variety B fibers.





For **needle-punched** insulation materials thickness, in the range of 6.5 mm up to 32.7 mm, corresponding B fibrous material density in average is 4.5% lower (Fig.6.7. and Fig.6.8.) and the water vapor permeability is 1.3 times lower than for P fiber materials (Fig.6.9.). B fibrous material thermal conductivity vary in the range of 0.028 up to 0.033 W/(m·K), and from 0.028 up to 0.040 W/(m·K) for P fiber materials (Fig.6.10.). Samples P ignition time is 50% shorter, and while burning 17% less Total heat releases B fibrous materials.

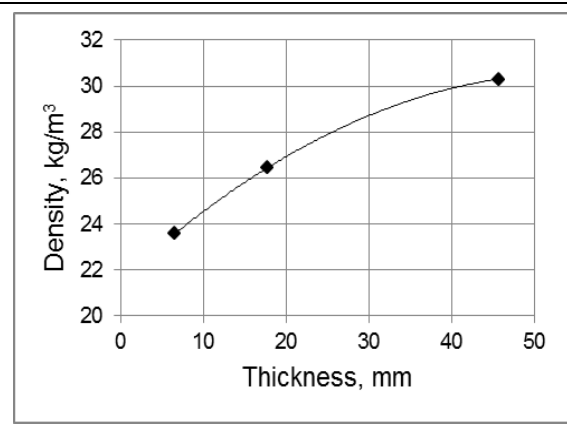


Fig.6.7. Density as a function of thickness (P)
 $Y_{dP} = 21.56 + 0.328x_{tP} - 0.003x_{tP}^2$

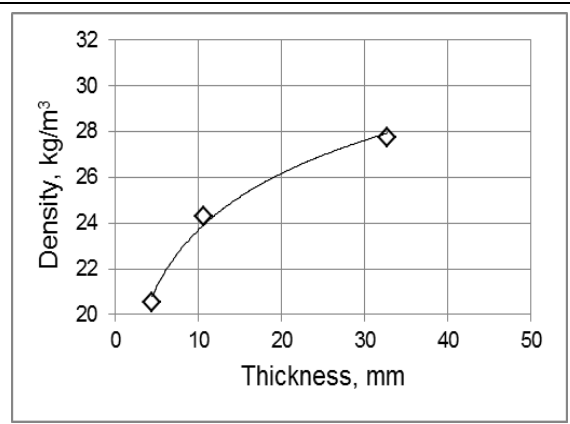


Fig.6.8. Density as a function of thickness (B)
 $Y_{dB} = 15.497 + 3.565\ln(x_{tB})$

where: Y_{dP} ; Y_{dB} – needle-punched samples density (kg/m^3),
 x_{tP} ; x_{tB} – needle-punched samples thickness (mm).

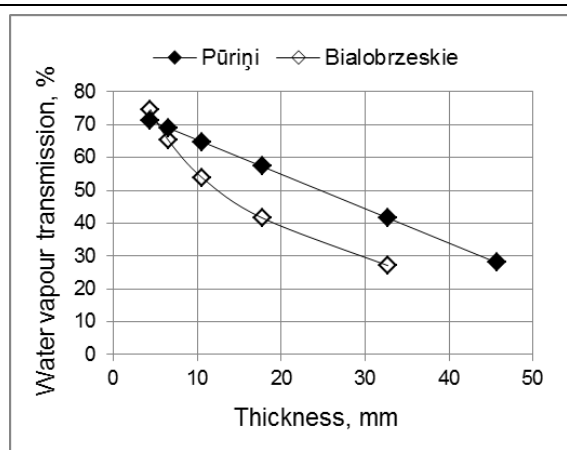


Fig.6.9. Water vapor permeability changes depending on the material thickness
 $Y_{wP} = 75.87 - 1.0488 x_{tP}$
 $Y_{wB} = 109.79 - 23.72\ln(x_{tB})$

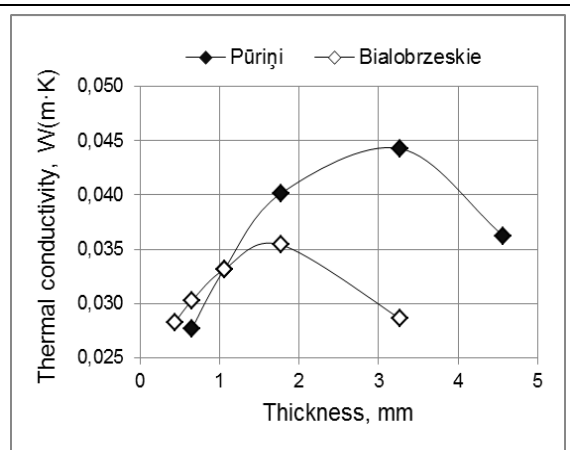
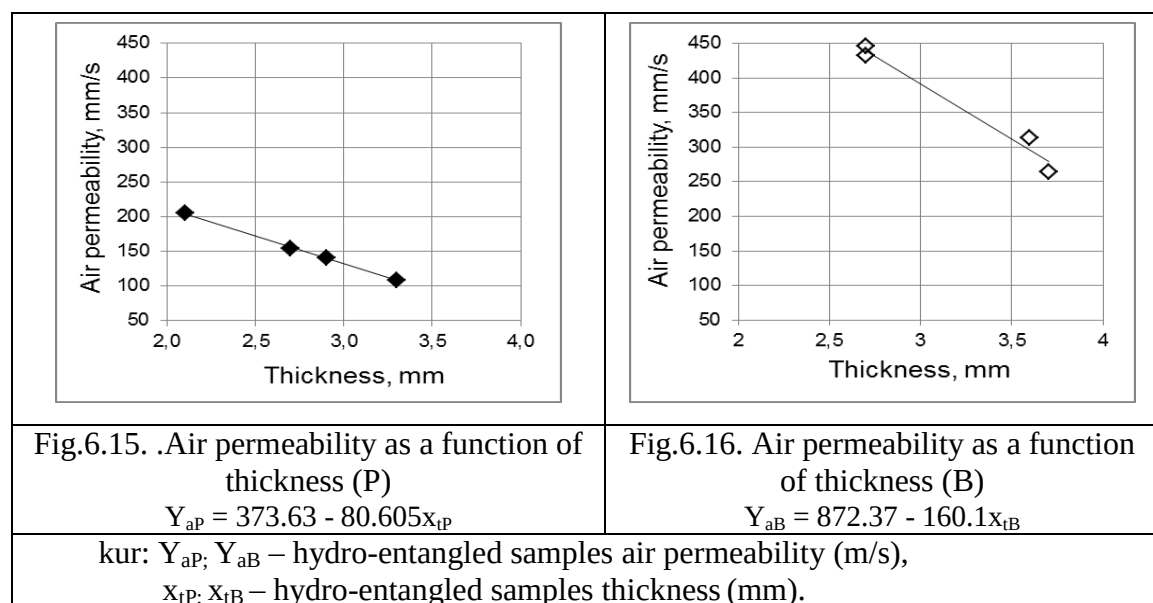
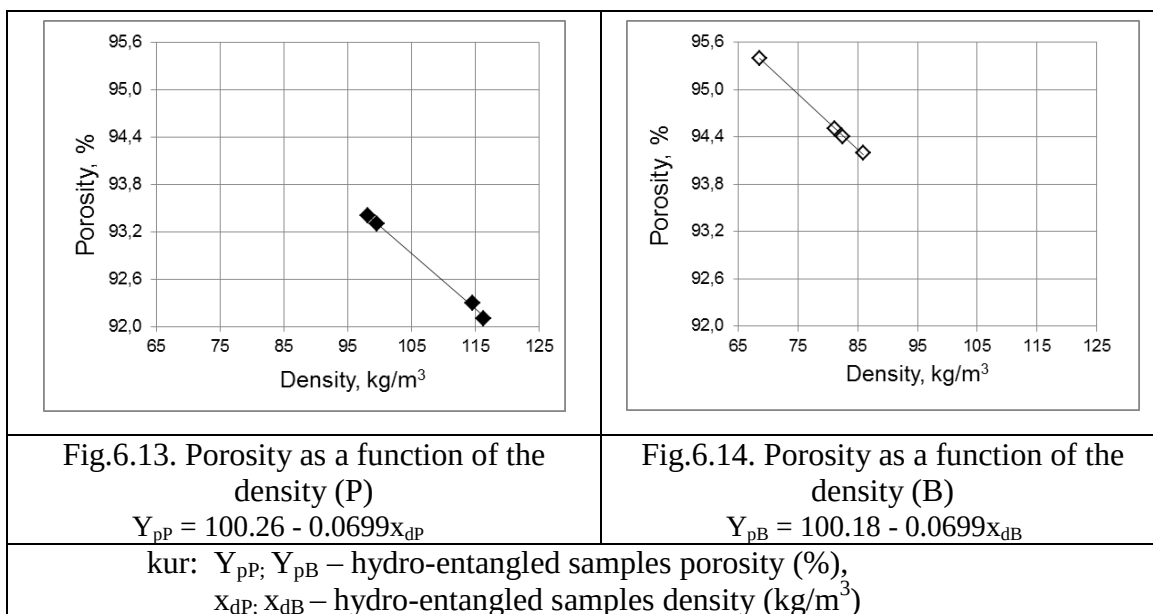
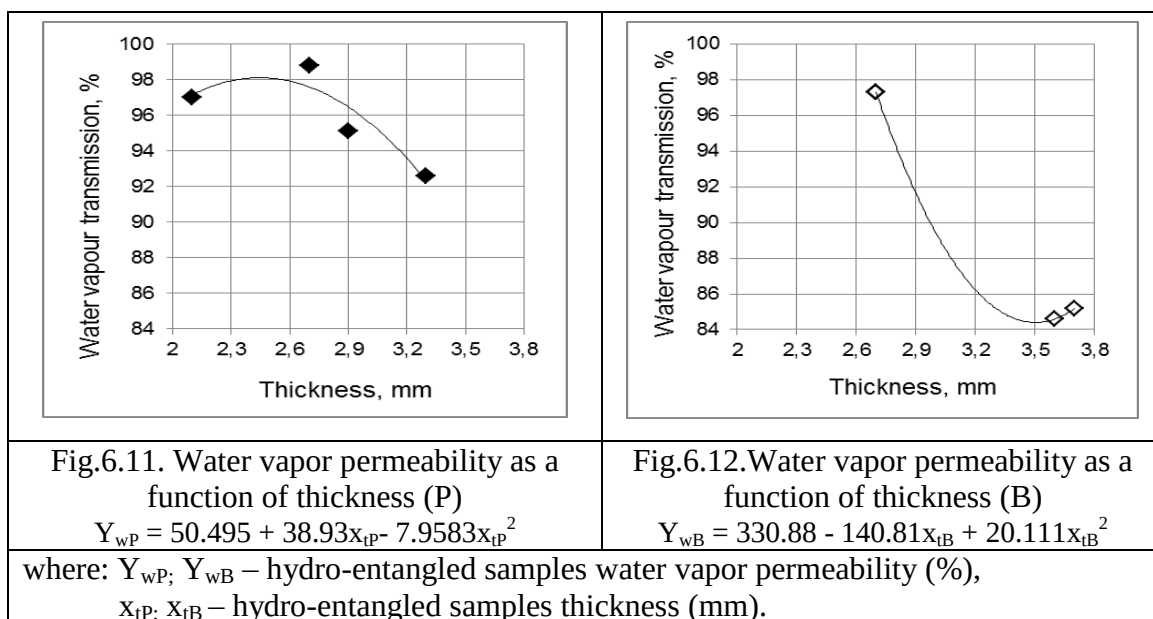
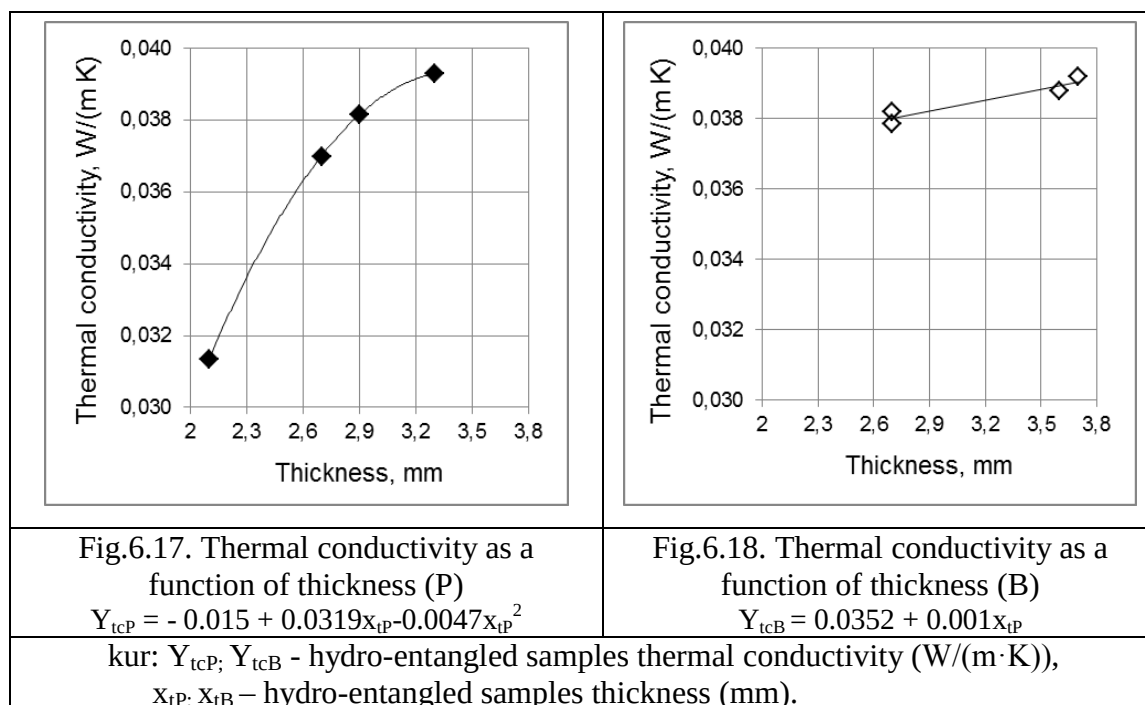


Fig.6.10. Thermal conductivity changes depending on the material thickness
 $Y_{tcP} = 0.0167 + 0.0189 x_{tP} - 0.0032 x_{tP}^2$
 $Y_{svB} = 0.0232 + 0.0131 x_{tB} - 0.0035 x_{tB}^2$

where: Y_{wP} ; Y_{wB} – needle-punched samples water vapor permeability (%),
 Y_{tcP} ; Y_{tcB} – needle-punched samples thermal conductivity $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
 x_{tP} ; x_{tB} – needle-punched samples thickness (mm).

Hydro-entangled, P variety fibers materials average density is 35%, an average water vapor permeability (Fig.6.11. and Fig.6.12.) is 5% higher than the B fibers materials relevant indicators, as well as the average pore size is 28% less and the average porosity is 1.9 % lower (Fig.6.13., Fig.6.14.). P fibers materials air permeability is 20% lower (Fig.6.15., Fig.6.16.), an average thermal conductivity is 6% lower compared to B variety samples properties (Fig.6.17., Fig.6.18.). The B fibers samples ignite 32% slower, while burning release 10% less total heat amount and reaches 11% greater Maximum heat release rate than samples of variety P fibers.





Hydro-entangled materials average water vapor permeability is higher, pore size, porosity and thermal resistance is lower than the corresponding thermal-bonded and needle-punched materials parameters. Thermal conductivity throughout the experiment is in the range from 0.028 to 0.040 W/(m·K), it is equivalent to such in the construction used insulation materials as mineral wool (0.030 to 0.045 W/(m·K)). Thermal-bonded materials ignites the fastest, hydro-entangled the slowest.

Samples of variety B fibers made by all three technologies show a smaller total heat release (THR), while the maximum heat release rate (HRR_{max}) is higher than the samples of variety P fibers (Fig.6.19., Fig.6.20.), that will contribute to a more rapid spread of fire.

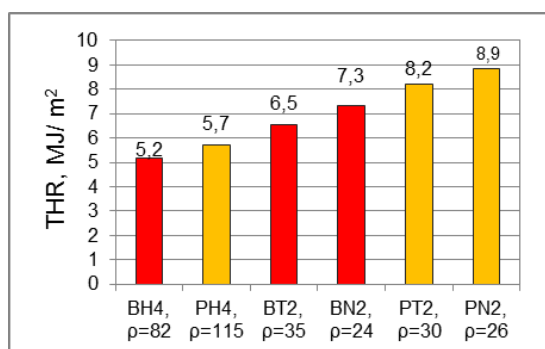


Fig.6.19. Total heat release

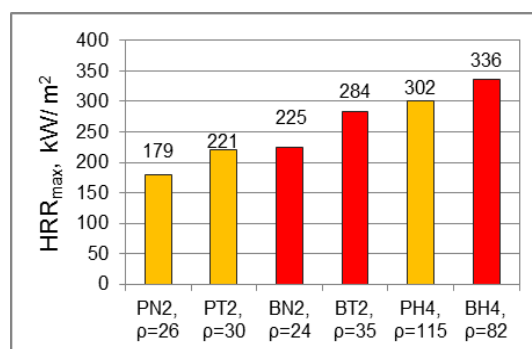


Fig.6.20. Maximum heat release rate

By varying the hemp fiber bundle clamping length between 3 and 15 mm was found that the major breaking load values correspond to a clamping length of 3 mm, since this clamping length reflects the combined resistance to breakage of the elementary fibers

(Fig.6.21.). By increasing the clamping length was measured the longest elementary fibers breaking resistance and short fiber pullout resistance of the complex, thus found breaking load is lower.

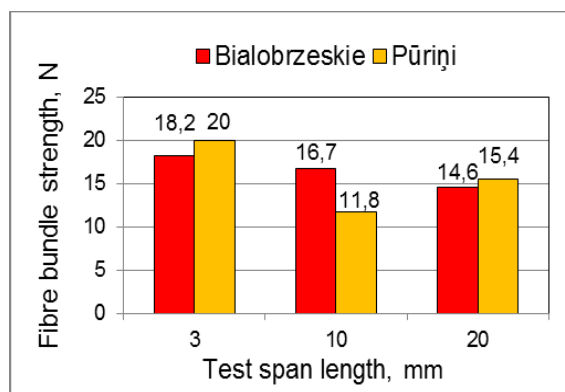


Fig.6.21. The average breaking strength of Puriņi and Bialobrzeskie fiber bundles

Durability cycles are mainly dependent from amplituda value, in addition the more sensitive reacted P fibers: with the amplitude increasing from 0.2 till 0.3 mm average durability cycles of the fiber bundle decreases by ~ 19 % for the variety B and by 31 % for the variety P.

The potential cost analysis shows that by purchasing used technology lines, 50 mm thick hemp fiber insulation material (density 40 kg/m³, mass per unit area of 2000 g/m²) full cost is:

1) in the thermal-bonding process 2.67 EUR/m² (one shift) or 2.37 EUR/m² (two shifts), see Fig.3.22. and Fig.3.23.;

2) in the needle-punching process 2.90 EUR/m² (one shift) or 2.54 EUR/m² (two shifts), see Fig.3.24. and Fig.3.25.;

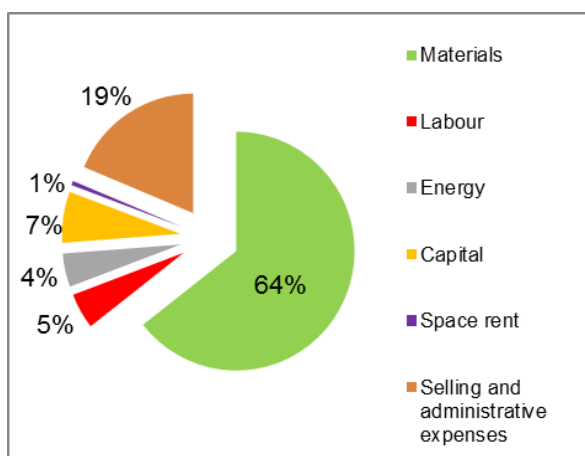


Fig.6.22. Thermal-bonded insulation material cost structure, one work shift

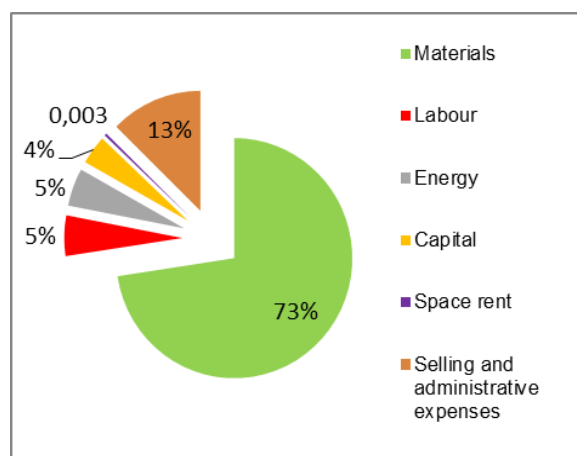


Fig.6.23. Thermal-bonded insulation material cost structure, 2 work shifts

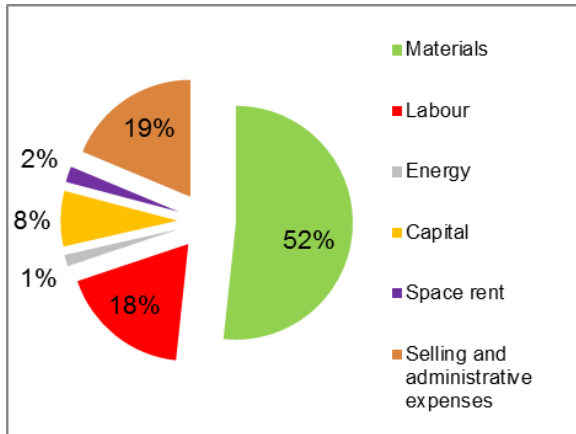


Fig.6.24. Needle-punched insulation material cost structure, one work shift

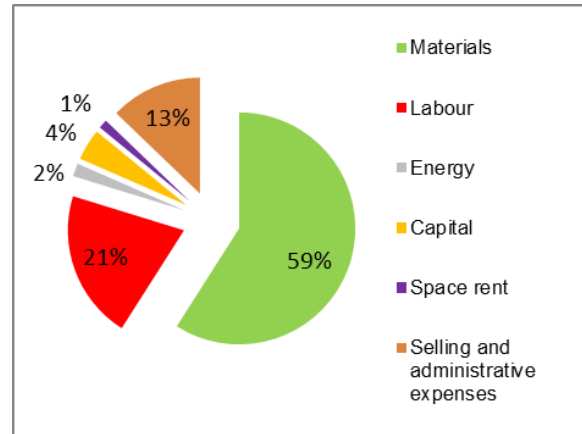


Fig.6.25. Needle-punched insulation material cost structure, 2 work shifts

Despite the fact that the thermal-bonded material costs increase PE-PP fibers and 10 times higher power consumption, for calculation used thermal-bonded technological line is 4 times more productive than needle-punched line, resulting in lower thermal-bonded material costs.

Hydro-entangled technological line acquisition cost is very high, because it is a new and complex technology, used machines are not available; the power consumption is much higher as well. Despite high capital costs and high energy consumption compensate by productivity, hydro-entangled technological line allows to obtain 3 mm thick insulation material with a density of 60 kg/m^3 and mass per unit area of 180 g/m^2 not exceeding 0.45 EUR/m^2 (one shift) or 0.31 EUR / m^2 (two shifts), see Fig.6.26. and Fig. 6.27.

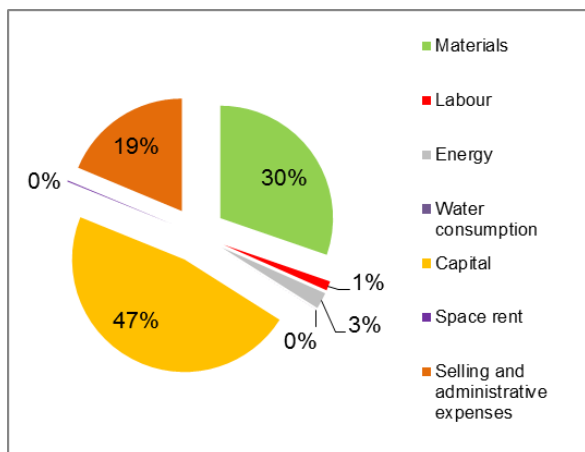


Fig. 6.26. Hydro-entangled insulation material cost structure, one work shift

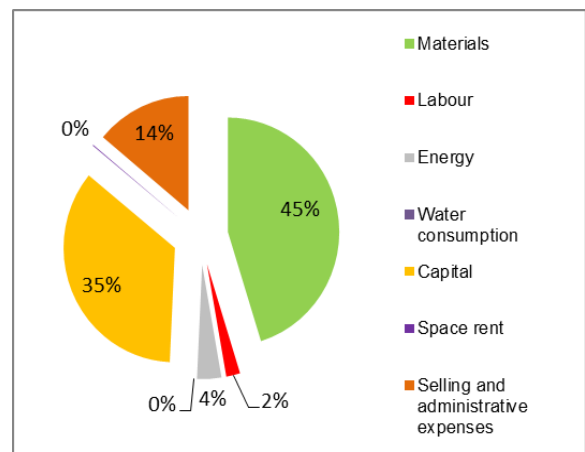


Fig. 6.27. Hydro-entangled insulation material cost structure, 2 work shifts

CONCLUSIONS

- For the first time a complex research was carried out by analysing Latvian grown hemp fibers (a variety Purini and Bialobrzeskie) and non-woven materials textile technologies (thermal-bonding, needle-punching and hydro-entangling) suitability for the manufacture of the insulation materials and influence on their properties.
- Non-woven insulation materials prototypes were developed, their properties were explored and comparative analysis of the properties performed. It promotes the use of the hemp fibers and non-wovens sector development in the context of the Latvian economy as well as of the ecological problem solution searches both Latvian and in other EU countries.
- Analysis has shown that the non-woven textile technologies enables to make non-woven materials from hemp fibre grown in the climatic conditions of Latvia for buildings insulation uses which are competitive with similar, natural material based, on the market available materials thermal properties.
- This research is an important step in the link creation of the hemp varieties, growing conditions and the final product (insulation material) properties.
- The research demonstrates that, although Latvian breeding hemp genotype Purini is typical seed variety, fibers due to their suitable characteristics can be used in the production of thermal insulation materials for buildings as a by-product. It would allow to improve business profitability. It can be developed as mixed - seeds/ fibres industrial variety appropriate for the climate and vegetation period of Latvia.
- The insulation materials economic calculation results indicate that, at the moment, for the Latvian economy in terms of costs, more suitable is needle-punching textile technology, because it consumes less electricity, synthetic binding fibres are not required, with preset Latvian hemp production volumes shall be provided with a sufficient quantity of hemp. Obtained hemp fibre insulation material costs enables to determine competitive price compared to in the market available plant origin and wood fibre material prices.
- Results of the research is a useful material for hemp fibre non-woven materials manufacturing startups in their practical work, can be used also in the vocational education system. The results already have led to the interest of entrepreneurs who are planning the hemp pretreatment line supplement with the technical textiles production

line. Thus, the company will be able to realize produced fibers in the products with added value production.

- The research can be developed by looking for suitable density, thickness, thermal conductivity relations; by varying amount of binders; by searching of a green and cost-effective binder alternatives; by integrating technological treatments to improve the handling of fire.

LITERATŪRAS SARAKSTS/ REFERENCES

1. **Engelhardt, Andreas W.** The Fiber Year 2013 World Survey on Textiles & Nonwovens. http://www.php-fibers.com/fileadmin/Website_Inhalt/Dokumente/FY2013_PHP_Homepage.pdf. [Online] April 2013. [Cited: January 7, 2013.]
2. **Global Industry Analysts, Inc.** Textiles: A Global Outlook. http://www.prweb.com/releases/textiles_fiber/natural_synthetic_cotton/prweb9101673.htm. [Online] January 13, 2012. [Cited: January 7, 2013.]
3. **Rupp, J.** Man- Made Fibers: New Attitude. http://www.textileworld.com/Articles/2008/December_2008/FW/Man-Made_Fibersx_New_Attitude.html. [Online] Novembris/ Decembris 2008. [Cited: January 8, 2013.]
4. **The Textile Magazine.** World fibre production grows to 82 million tonnes in 2012. <http://www.indiantextilemagazine.in/fibre/world-fibre-production-grows-to-82-million-tonnes-in-2012/>. [Online] June 1, 2013. [Cited: July 18, 2013.]
5. **Juliane Haufe, Michael Carus.** *Hemp Fibres for Green Products – An assessment of life cycle studies on hemp fibre applications.* Hürth : nova-Institute GmbH, 2011.
6. *Analysis of the renewable fiber properties and uses in scale of Latvia.* **Stramkale, V., Freivalde, L., Kukle, S.** Ljubljana : s.n., 2010. 41st International Symposium on Novelties in Textiles. pp. 320-325. ISBN 978-609-95098-2-2.
7. *Comparative Analysis of Thermo Bonded and Needle Punched Hemp Nonwoven Material Properties.* **Freivalde, L., Kukle, S., Russell, S.** Dubrovnik : s.n., 2012. Proc. of the International Textile Clothing and Design Conference Magic World of Textiles - 6. pp. 47-52. ISSN: 1847-7275.
8. *Mechanical Properties of Hemp Fibres and Insulation Materials.* **Freivalde, L., Kukle, S.** Rīga : s.n., 2012. Biznesa augstskolas Turība konferenču rakstu krājums. pp. 45-52. ISSN 1691-6069.
9. *Textiles - Standard atmospheres for conditioning and testing.* BS EN 20139:1992, ISO 139:1973.
10. *Textiles - Test methods for nonwovens - Part 2: Determination of thickness.* EN ISO 9073-2:1997.
11. *Tekstilizstrādājumi - Neausto audumu testa metodes - 1.daļa: Masas noteikšana uz laukuma vienību.* LVS EN 29073-1:2001.
12. *Determination of the thermal resistance of textiles.* BS 4745: 2005, ISO 5085-1:1989, ISO 5085-2:1990.

13. *Tekstilizstrādājumi - Izstrādājumu gaisa caulaidības noteikšana*. LVS EN ISO 9237:2001.
14. *Specification for Water vapour permeable apparel fabrics*. BS 7209:1990.
15. *Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers*. **Stanković, S.B., Popović, D., Poparić, G.B.** 2008, Polymer Testing, Vol. 27, pp. 41- 48. Available from: [http://dx.doi.org/ 10.1016/j.polymertesting.2007.08.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.08.003). ISSN: 0142-9418.
16. **Mao, N., Russell, S.J., Pourdeyhimi, B.,** Characterisation, testing and modelling of nonwoven fabrics. [ed.] S.J. Ed. Russell. *Handbook of nonwovens*. Cambridge : Woodhead Publ. Limited, 2007, pp. 401-514.
17. *Būvizstrādājumu testēšana pēc to reakcijas uz uguni*. LVS EN 13238: 2002.